AIAA航空航天技术丛书
"十二五"国家重点图书出版规划项目

Dependable Engines: The Story of Pratt & Whitney

可信赖的发动机：普惠公司史话

(美)马克·P. 沙利文(Mark P. Sullivan) 著
乔俊山 译



航空工业出版社
LIBRARY OF FLIGHT

VISIT...

LANZAROTE Caliente.COM

目录

《AIAA航空航天技术丛书》审委会
《AIAA航空航天技术丛书》编委会
丛书序（一）
丛书序（二）
给AIAA中文版丛书的序言
序
中文版前言
致谢
文前彩插
第1章 伦奇勒先生来到哈特福德
第2章 乌云笼罩在地平线上
第3章 50000架飞机
第4章 我们现在干什么
第5章 向前……直入云霄
时间表
第6章 发动机只管不断向前，向前，向前
第7章 “小普惠”干大事
第8章 伟大的发动机与发动机大战
第9章 新发动机，新挑战
第10章 战斗机发动机与大型双发飞机发动机大赛
第11章 新世纪，新公司
附录A 普惠之鹰，从何处飞来
附录B 飞机与火箭发动机
参考资料

AIAA航空航天技术丛书 “十二五”国家重点图书出版规划项目

可信赖的发动机：
普惠公司史话

（美）马克·P. 沙利文（Mark P. Sullivan）著
乔俊山 译

航空工业出版社
北京

内容提要

本书由航空史中的诸多点滴史实编织而成，讲述了普惠公司的创建、发展和繁荣历程。书中以巧妙的手法浓缩、以高雅的方式表述了普惠公司的独特历史和其对民用与军用航空业的巨大贡献，并配以珍贵的历史照片使得史实重现。其内容既有20世纪70年代，普惠公司生产的涡扇发动机装载了第一架“喷气”发动机；20世纪80年代装配波音757的PW2037；以及20世纪90年代中期普惠与ILFC之间独特关系的关键发展；也对新世纪普惠公司的发展进行了展望。

本书的读者对象为航空院校发动机专业相关师生；普惠公司员工、客户，及对发动机和普惠公司历史和发展感兴趣的读者。

图书在版编目（**CIP**）数据

可信赖的发动机：普惠公司史话/（美）沙利文（Sullivan，M.P.）著；乔俊山译.——北京：航空工业出版社，2013.1

（AIAA航空航天技术丛书）

书名原文：Dependable Engines：The Story of Pratt & Whitney

ISBN 978-7-5165-0109-2

I.①可… II.①沙… ②乔… III.①航空航天工业-工业企业-概况-美国 IV.①F471.265

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第283317号

北京市版权局著作权合同登记

图字：01-2012-7268

Translated from the English language edition：Dependable Engines：The Story of Pratt & Whitney，by Mark P.Sullivan.Originally published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics，Inc. ISBN 978-1-56347-957-1（hardcover） and ISBN 978-1-56347-958-8（paperback） Copyright @ 2008 by the American Institute of Aeronautics and Astronautics，Inc. All rights reserved.

可信赖的发动机：普惠公司史话

Kexinlai de Fadongji：PuHui Gongsi Shihua

航空工业出版社出版发行

（北京市安定门外小关东里14号 100029）

发行部电话：010-64815615 010-64978486

北京世汉凌云印刷有限公司印刷 全国各地新华书店经售

2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

开本：787×1092 1/12 印张：15 字数：194千字

印数：1—4000 定价：98.00元

（凡购买本社图书，如有印装质量问题，可与发行部联系调换）

《AIAA航空航天技术丛书》审委会

顾　问：（按姓氏笔画排列）

尹泽勇 石屏 冯培德 刘大响 关桥 杨凤田 李天

李明 宋文骢 张彦仲 陈一坚 陈祥宝 赵振业 唐长红

顾诵芬 曹春晓 颜鸣皋

主　任：林左鸣

副主任：谭瑞松 顾惠忠 吴献东 张新国

委　员：（按姓氏笔画排列）

王坚 王之林 王向阳 王英杰 王润孝 卢广山 曲景文

华俊 刘选民 刘春晖 杨圣军 李晓红 吴松 汪亚卫

陈元先 陈灌军 庞为 郭恩明 都本正 彭卫东 葛子干

蔡毅 魏金钟

《AIAA航空航天技术丛书》编委会

主　任：张新国

副主任：王英杰 魏金钟

委　员：（按姓氏笔画排列）

丁文强 丁全心 王永庆 王永明 王明皓 王聪梅 车宏

牛文生 邓景辉 尹红顺 艾俊强 帅朝林 田泽 白晓东

冯子明 巩水利 朱知寿 朱荣刚 刘永泉 江和甫 孙聪

杨伟 杨旭 杨超 杨朝旭 苏炳君 李文正 李东杰

李孝堂 李宏新 李周复 严成忠 吴希明 吴良斌 吴学仁

何胜强 沈锡钢 宋笔锋 张弘 张波 张明习 张继高

陆志东 陆虎敏 陈聪慧 范彦铭 欧阳绍修 罗安阳 周自全

赵霞 侯敏杰 姚华 袁立 聂海涛 徐华胜 郭德伦

益小苏 陶春虎 桑建华 黄佑 黄传跃 曹奇凯 章怡宁

梁相文 梁晓庚 董建鸿 强宝平 童明波 曾军 曾元松

蒲小勃 褚林塘 臧军 廖志忠 樊会涛

编委会办公室

主　任：刘鑫

副主任：史晋蕾 李苏楠

成　员：（按姓氏笔画排列）

安玉彦 李金梅 郭玮 郭倩旎

丛书序（一）

中国航空工业要融入世界航空产业链，进行国际化开拓，参与国际合作和竞争，与世界航空航天企业共谋发展，需要的是强大的技术支撑。构建先进的技术研发平台，加速推进前沿科学技术的研究，加速推进航空发动机技术和航空先进材料技术领域的基础及应用技术研究、新产品研发与技术创新，关键是要有一批具有高水平、高素质的航空航天专业人才。而人才的培养离不开知识的传承，这套《AIAA航空航天技术丛书》就为我们提供了一个很好的资源。

习人之长，补己之短，正视不足，奋发崛起，社会发展规律普遍如此。从这套书中，我们不仅能读到长久以来人类在探索天空的过程中积跬步而形成的基础的、科学的、先进的专业知识和技术，以及崭新的思维方式和解决问题的技巧及方法，更重要的是能在学习这些成功经验的同时，多注意看看前车之鉴，避开陷阱。在这里我想要与大家共勉的是，即使是在百科全书中也不能找到所有问题的答案，科学发展永无止境，航空航天业的进步带动着社会高精尖技术的发展，其中还有很多领域及问题需要我们去探索和解决，因此，我们要抱着虚心的态度去学习，勇于探索的态度去思考，用好这些书，读好这些书。

科技的进步是整个社会的进步。愿我们的科技工作者、科研管理人员和广大的院校师生，既能够从中学习到知识、寻找到答案，更能够汲取精华，并能积极探索，与自身的知识、技术和经验相结合，在中国航空工业整翼飞升之时，迸发出更加绚丽的思想火花。

林左鸣

中国航空工业集团公司董事长

丛书序（二）

航空航天业是关系国家安全和国民经济命脉的战略性产业，是高投入、高附加值的技术密集型产业。由于其技术含量高、产业链长、带动性强，其发展对我国经济结构调整、实现产业优化升级、提高综合国力具有重要意义。金融危机之后，全球对于实体经济的认识回归到正确的轨道上来，重振制造业已成大家共识。而依靠高新技术和高产品附加值的高端制造业，被认为是推进工业转型升级的突破口。航空航天业作为高端制造业的重中之重，如何发挥其“火车头”作用引领制造业拥有强大竞争优势，成为当务之急。而解决这一问题的关键，就是突破核心技术，加强自主创新。

相比欧美等发达国家，我国并没有系统地经历科学革命和工业革命的洗礼。科学技术和工业基础落后，是导致我们高端制造业发展缓慢的原因之一。科学技术的进步非一朝一夕之力。通常来讲，一个产业发展所依托的先进技术至少需要10～20年的储备周期。以前的飞机材料都是单一金属的，现在随着材料技术、制造技术的进步，发展到铝合金、铝镁合金、钛合金以及碳纤维材料。这种科学技术的进步改进了飞机的性能和功能，包括后期出现的预警机、加油机、空天飞机等，其背后凭借的也是飞机的电子设备、任务系统、功能系统等的不断升级，依靠的是一系列科学技术的积累。

夯实技术基础并谋求创新，除了依靠自身积极探索、不断积累技术成果，还要吸纳国外先进的技术成果和经验，建立开放式的科学技术发展架构。

着眼于此，中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）从美国航空航天学会（AIAA）的专业出版物中选择优秀图书引进翻译出版为中文版，推出了这套《AIAA航空航天技术丛书》。熟悉AIAA的同行们都知道，AIAA的出版物专注于航空航天领域，包括专业图书、期刊、会议论文和标准等，是为航空航天业提供信息服务的重要组成部分。AIAA的图书工作委员会及其严格的审查制度保证了其图书具有较高的学术水平和技术含量。

这套中文版的《AIAA航空航天技术丛书》涵盖飞行器的结构技术、材料技术、制造技术、气动技术、推进技术、试验技术、控制技术、航电系统和武器系统等方面，是对国内有关专业领域的有益补充。这次引进翻译出版工作所涉及的专业领域较多，工作繁杂，难度

很大，需要协调的事情也很多，衷心希望最终能够达到预期目的，真正为促进国际化的交流与合作、为培养高素质的航空航天专业人才、为前沿科学技术的探索和创新起到应有的作用。

张新国

中国航空工业集团公司副总经理

给AIAA中文版丛书的序言

美国航空航天学会（AIAA）由成立于1930年的美国火箭协会和成立于1932年的美国航空科学学会于1963年合并而成。自此，AIAA就作为最早的平台服务于美国及全球航空航天技术的创新者、卓越者和引领人。广为人们所熟悉的奥维尔·莱特，尼尔·阿姆斯特朗，弗兰克·惠特尔，凯利·约翰逊，西奥多·冯·卡门和沃纳·冯·布朗都是AIAA的会员，而每6名AIAA的会员中就有超过1名会员来自美国以外的国家或地区。

这套中文版的《AIAA航空航天技术丛书》是AIAA和中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）良好合作的硕果。这种合作关系使得AIAA与中国航空学会之间以及AIAA与中国宇航学会之间的合作相得益彰。作为世界上最大的服务于航空航天业的技术学会，由我们来推进AIAA图书中文版及双语版的出版和促成我们会员之间的交流是极为恰当之事。

我们的合作最早是由中航出版传媒有限责任公司所提出的，最初主要关注在对AIAA技术图书的翻译上，采用译注的形式使得英文技术词汇有限的学生能够掌握图书阐述的概念。正如你们所看到的这套丛书，现在它已不仅限于最初的目的和形式。我们不会忘记我们的宗旨，而当我们展望未来时，我们感到非常高兴的是这套AIAA中文版图书包含了AIAA所出版的所有类别的图书：教育系列（大学教材）、航空航天进展系列（科技）以及飞行图书馆系列（大众爱好）。

另外，最近几年里，AIAA的所有图书、期刊文章和技术会议论文都已进行电子版存档，我们也希望我们的国际会员和合作伙伴能够很方便地访问这个强大的航空航天信息图书馆。

由最初在出版上的合作开始，AIAA已增强了其与中国的合作关系，包括代表团互访和交流等活动。这些互惠活动使美国和中国的航空航天团体之间的联系纽带更加牢固，也使双方收获了重要的友谊。各种开拓性的互动将使我们的国家间拥有更好的相互理解与合作关系。AIAA非常感谢中国航空工业集团公司的张新国副总经理、中航工业经济技术研究院王英杰院长、中航出版传媒有限责任公司的刘鑫总经理和李苏楠主任为此次合作所做出的努力。

AIAA致力于服务广大会员和航空航天业。如今，AIAA有许多来

自中国的会员，随着更多的学生和专业人士通过这套丛书、AIAA的其他出版物和直接的交流而对AIAA有更多的了解，我们希望来自中国的会员数量将会不断增多。而对于如何改善我们的服务，我们认为最好的想法来自于我们的读者和会员。欢迎你们提出建议，并且我相信中航出版传媒有限责任公司会将你们提出的建议转达给AIAA。

我们期待着未来长期且富有成效的合作。

罗伯特·迪克曼

美国航空航天学会主席

序

普拉特·惠特尼（简称普惠）公司史话展现了一个五彩缤纷的历史画卷，充满人们对航空的激情、梦想、机遇、远见和勇气，与跌宕起伏的历史冲击交织在一起。弗里德里克·伦奇勒以锲而不舍的执着精神、丰富的想象力，设计并制造可信赖的发动机，为普惠公司开创了独特的创造能力并推动了美国在航空发动机方面的领导地位。这一传奇故事始于1925年，绵延几十年。普惠公司的R1340“黄蜂”、R985“大黄蜂”、R1830和R2000”对黄蜂”和R2800“双黄蜂”活塞发动机逐步提高了那个时期到第二次世界大战（简称二战）前商用和军用航空发动机的性能标杆。

我的首次飞行经历是1955年夏天在我的祖国匈牙利，乘坐的是按道格拉斯飞机公司许可证制造的苏联制“里-2”飞机，配备苏联人仿制的R1380发动机。对于一个9岁男孩儿，那种刺激是多么令人难忘！令人啼笑皆非的是，1958年4月10日，普惠公司帮助我乘坐一架使用普惠R2800发动机的DC-6客机逃离匈牙利，奔向自由，来到西方。随后我于1958年7月4日踏上飞往美国的首次航行，从瑞典斯德哥尔摩，经丹麦哥本哈根和苏格兰普列斯特韦克飞往纽约。我当时乘坐的是北欧航空公司的DC-6B飞机，配备R2800-CB16发动机，在大西洋夜空中发出光亮。4台R2800发动机以最大马力起飞，产生的轰鸣声激动着所有航空爱好者的心弦，当然我也毫不例外。

我14岁时是一个少年飞机迷，放学后大都泡在纽约拉瓜迪亚机场，在候机楼观景台和机库游荡。印象最深刻的是DC-3、DC-4、马丁404、康威尔340/440、DC-6以及DC-6B等飞机。它们全都配备普惠发动机，由东北、环球、东方、美洲、联合、首都、阿勒菲尼、莫霍克等航空公司运营。这些童年记忆给我的心灵带来很大影响，使我立志以航空业作为毕生追求的事业。

时间飞逝，转眼到了1973年9月20日，也就是35年前，国际租赁金融公司（ILFC）首次把一架道格拉斯DC-8-51飞机租赁给墨西哥航空公司使用，从而开创了商业航空的新纪元。该飞机配备普惠JT3D-3B涡扇发动机，是我们拥有的第一架喷气式飞机。1973年9月的这一天是我们值得自豪的一天！20世纪70年代，随着国际租赁金融公司的发展与成功，以普惠发动机为动力装置的喷气式飞机如雨后春笋。在这些飞机中有波音公司的10多种型号，如波音720B、波音707、DC-8-50和DC-60系列，等等。1977年4月15日，我们接收了国

际租赁金融公司第一架崭新的波音737-204“先进型”喷气机，配备JT8D-15A发动机，租赁给布里塔尼亚航空公司。随后，我们又接收了多架波音737-200飞机。一年后，第一架新波音727-214飞机配备普惠JT8D-9A发动机；两年后新的MD-82飞机配备JT8D-217A发动机；不久，第一架波音747-200B飞机配备JT9D-7Q发动机。

20世纪80年代见证了我们第一架配备PW2037发动机的波音757飞机，此后20世纪90年代的MD-11、波音767-300ER飞机和1994年的空客A330-300飞机都配备PW4000发动机。每个重大的里程碑时刻，这些雄伟壮观的飞机都由镌刻着翱翔“雄鹰”和“可信赖发动机”徽标的发动机提供动力。这些标志恰如其分、令人自豪。

20世纪90年代中期还见证了普惠与国际租赁金融公司独特关系的又一重要发展。在此期间，国际租赁金融公司的空客A320、A319和A321机队日益发展壮大，国际航空发动机公司（IAE）的V2500发动机成为该机队的可靠发动机。2008年，国际租赁金融公司是国际航空发动机公司最大的客户，拥有500多台已交付或后续订购的V2500发动机。

展望未来，普惠公司正在设计、试验和研制新的系列齿轮涡扇（GTF）发动机，这种发动机正如普惠公司20世纪30年代的R1830、40年代的R2800、50年代末的JT3、60年代的JT8D、70年代的JT9D和八九十年代的PW2000、PW4000等发动机那样，将再次重塑商用航空业的结构和未来。

普惠公司的独特历史和对民用与军用航空的贡献本可以卷帙浩繁，但本书谨以巧妙的手法和高雅的方式表述。普惠公司的影响触及到航空业和飞行界的许多人。这本史话如此生动地捕捉住那些先生们、女士们以及各种机器五彩缤纷的历史。这些先生们、女士们和那些机器让我们在技术进步的道路上走过近90年。我们对他们取得的成就致以崇高的敬意。

在我们走向下一个10年之际，康涅狄格州的蓝天将再一次映射出普惠人的创新、勇气和才智。他们把普惠公司打造成具有特殊贡献的公司，给全球航空业带来巨大影响。我为本书作序，谨献给这些普惠人，他们创造的这一历史如此丰富，并将永远激动人心！

史蒂文·F.乌德瓦-哈齐

国际租赁金融公司创始人、董事长兼首席执行官

中文版前言

《可信赖的发动机：普惠公司史话》由航空史中诸多点滴史实编织而成。也许没有任何一种努力像载人飞行那样如此激发人们的想象力，这种想象力早在1925年就激励着公司的创始人，当时革命性的“黄蜂”发动机开拓了速度和耐久性的新领域。也正是这种想象力激励着今天的普惠人。尽管飞行被迷人的光环围绕着，发动机行业却一向举步维艰。技术方面的挑战非常严峻，面临的风险巨大。然而，普惠人始终具有聪明的才智，高瞻远瞩的视野，敬业奉献的精神，甚至可能还有点固执的坚持。他们竭尽全力，不断改进，从不放弃，直到“最后一点点性能和耐久性被挖掘出来”。

普惠公司自1929年，即公司创建四年后，就在中国积极开展业务，当时安装“黄蜂”发动机的“洛宁”号两栖“空中帆船”飞机在上海经南京至汉口的航线上飞行，提供航空邮政服务。我们的母公司——联合技术公司进入中国市场的时间更早，其旗下的奥的斯子公司于1888年和1907年分别在香港和上海安装了首部电梯。今天，联合技术公司在中国建有近50个合资企业，共有16000多名员工，为电梯、消防安全、空调和冷冻以及航空等市场提供服务。

过去87年来，普惠公司在中国航空业创立了开展长期业务活动、建立合作伙伴关系的骄人纪录。1996年，我们在成都建立了首家西方的航空制造合资企业。2009年，我们与中国东方航空公司密切合作，组建了技术先进的上海发动机中心。这是中国首个获得美国绿色建筑协会“环保节能设计领先（LEED）铂金奖”的设施，该设施提供发动机维护、修理和大修服务。中国是普惠公司产品和服务的增长市场，我们将继续在中国市场进行全力发展。预测表明，到2030年亚太地区将引领世界航空运输业，客运将占全球总量的三分之一，从而超越传统上由北美和欧洲占据的位置。

普惠公司史话是创造和再创造的史话。在过去九十多年里，我们不断地对公司进行再创造，以应对新挑战和捕捉新机遇。我们已经成为全球性制造商，我们的员工和设施遍布世界各地，从加拿大到中国，从新加坡到新西兰。我们的员工利用“齿轮传动涡扇TM”发动机应对21世纪发展“绿色”技术的挑战，该发动机的燃油效率大幅跃升，噪声和排放显著降低。普惠公司为空客、庞巴迪、巴西航空工业、伊尔库特和三菱等公司制造的飞机提供动力，正在使整个航空业发生变革。

公司创始人弗雷德里克·伦奇勒不辞辛劳把可信赖的同事凝聚在一起，组成具有聪明才智的团队。他们对航空充满激情，对工程和制造精益求精。他们所追求的目标至今仍然使客户满意，而且心情愉悦。正如普惠公司在1950年为公司成立25周年庆典而出版的史料所述："在航空界，名列第二就根本不足为道"。1925年，伦奇勒预见到航空不再是一个人的表演，而是在不断发展，并必将成为像汽车或铁路那样的产业。他要求公司必须具有良好的财务和坚实的收益，以便对新技术继续投资，因为这是让弱小的产业能够发展的唯一途径。普惠公司有时偏离这些原则并为之付出高昂代价。公司的历史不能、也不应掩盖这些瑕疵。而一个公司及其员工如何对待这种逆境才是真正衡量其的尺度。

随着动力装置从活塞式"黄蜂"发展到备受推崇的JT8D涡扇发动机，以及21世纪巨大的F135和PW1500G发动机，普惠人值得为他们在过去88年所取得的成就而自豪。但是任何一个公司都不能以发动机行业的全才而自居。每个公司的发展立足于科学和业界开拓者的成就之上，并受到诸如莱特、艾利逊、莱克明、通用电气、罗尔斯·罗伊斯和霍尼韦尔这些竞争对手的激励。不过要让世人了解，普惠公司立业之本，即普惠公司如今仍然信守的"雄鹰"徽标下的承诺——可信赖的发动机。

大卫·赫斯（David Hess）

普惠公司总裁

2013年1月

致谢

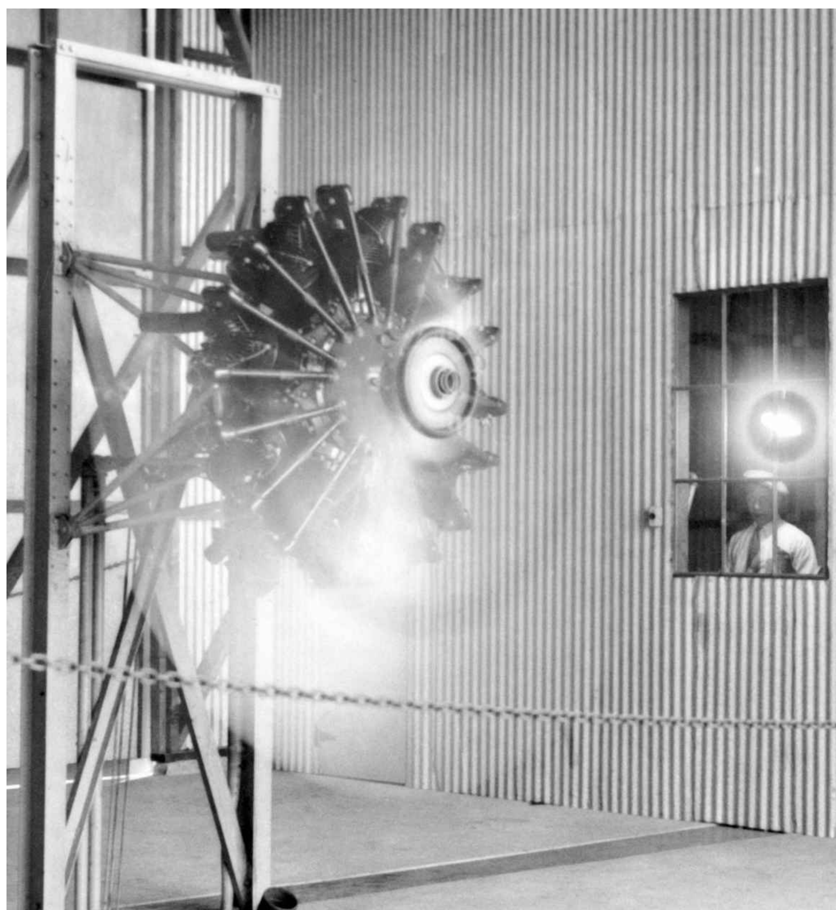
本作者首先为作品中出现的任何错误或疏忽致歉。前言中没有收入每一则故事和每一个项目。我所依据的是我在参考书目中注明的尽可能收集到的最佳来源资料，以及第一手访谈。有些人的回忆可能与我在这里提及的有所不同，但是我尽可能做到准确和公正。

每个作者都需要他人的工作、帮助和指导。我要感谢普惠公司志愿档案管理员杰克·康纳斯（Jack Connors）和杰西·亨德肖特（Jesse Hendershot），他们保存了已故哈维·利庞考特（Harvey Lipponcott）和安妮·米尔布鲁克（Anne Millbrook）的著作。还有普惠图书馆的普莉希拉·乌比西（Priscilla Ubysz），以及香浓·菲尔普斯（Shannon Phelps）、让娜·阿尔尚博（Jeanne Archambault）、玛尼艾·沃尔顿（Marnie Walton）、乔安妮·加戈浓（Joanne Gagnon）和大卫·皮平斯（David Pipins）给予的宝贵帮助。特别感谢普惠公司摄影师格列格·罗伯茨（Greg Roberts）帮助选择本书的照片。我还要感谢普惠公司总裁斯蒂芬·N.芬格给与的支持。

马克·P.沙利文

2008年6月

文前彩插



第1章 伦奇勒先生来到哈特福德

追根溯源

普惠公司史话汇编了近90年来建造该公司的成千上万名优秀人才的故事，他们包括工程师、设计师、机械师、销售和业务人员、办公室人员、秘书和后勤保障人员。

然而，这个伟大公司的建立主要源于一个人的远见卓识，这个人就是一位性格内向的俄亥俄州人，名叫弗里德里克·B.伦奇勒。伦奇勒有点腼腆和矜持。他是首先认识到航空会成为对美国国防和经济至关重要的强大行业的人之一。他的远见卓识表现在他建立了航空业初期的两家最成功的发动机公司：莱特航空公司和普拉特·惠特尼公司。



普惠公司创始人弗里德里克·B.伦奇勒与他的沃特02U“海盗”飞机。

伦奇勒的远见卓识建立在三个简单原则基础之上：即对航空充满激情；对工程与制造精益求精，满足客户需求；制订周全的业务计划。这些原则为他提供指导，如今仍然是普惠机构的组成。伦奇勒坚信一个公司必须有健康的效益，以便为行业所需技术继续投资，从而在发展的道路上继续取得成功。作家兼发动机历史学家格拉厄姆·怀特对伦奇勒的描述可能最恰如其分：“他是富有天赋的、为数不多的人才之一，既有实际操作能力，又懂得发动机，还是理财能手。这些对成功至关重要。”

我们应该指出，伦奇勒的故事并不是美国作家霍雷肖·阿尔杰笔下从赤贫到巨富的励志故事。伦奇勒出身于俄亥俄州汉密尔顿的一个成功家庭，他们拥有自己的铸造厂和公司。伦奇勒家族拥有遍布全国的业务网，可供弗里德里克利用。例如，弗里德里克·伦奇勒的兄弟戈登后来晋升为国家城市银行（现花旗银行）的董事长，这对伦奇勒实现梦想也是有益的。

1909年，伦奇勒毕业于普林斯顿大学，随后到汉密尔顿的家族企业工作。随着美国1917年参加第一次世界大战（简称一战），伦奇勒第一次涉足航空业，领中尉军衔，被分配检验和监督纽约地区的航空发动机生产。

伦奇勒深信做事应当认真规划、全神贯注和井然有序。他对美国以军用飞机“遮蔽欧洲天空”的做法并不看好。他看到的不是一个行业，而是一些零散小企业“毫无希望地跟在任何一个大国后面”。[1]这些零散小企业以巨大努力把汽车工业转变成飞机和发动机制造厂，再加上自己的设计，最终结果仅仅像涓涓细流，把半旧飞机和发动机运到欧洲。按照伦奇勒井然有序观察事物的方式，“从战争的观点来看，整个业界的工作毫无效力”。伦奇勒的工作是在新泽西州新布朗斯维克的莱特-马丁工厂检验法国最新“伊斯帕诺-苏伊扎”发动机的制造，这种发动机经过实战考验。他觉得这是国家从整体上应选择的发展之路。他以自己常用的分析方式总结道：“我们的航空知识如此贫乏，我们的时间是如此短暂，这种‘制造经过实战考验的欧洲发动机’的做法至少可以提供一种有效的帮助，但是骄傲却使我们另辟蹊径。”

人们也许认为这种经历会给这位汉密尔顿年轻人对航空的热情浇一盆冷水，甚至伦奇勒本人也说战后希望回到家族企业。这也是他父亲乔治所希望的。乔治称航空业“大都是头脑简单、四肢发达的愚蠢人所做的事”。但是他的儿子却像之前和后来很多人一样对航空如此着迷。一战后，经营一家新组建的发动机公司的机会来了，这个公司就是莱特航空公司，从伦奇勒所熟知的莱特-马丁公司发展而来。

1919—1924年，伦奇勒成功地经营着莱特航空公司，并为开发最著名的“旋风”发动机奠定了基础。“旋风”发动机为查尔斯·林德伯格1927年横跨大西洋的飞行提供了动力。这款发动机是由星形发动机先驱萨姆·赫伦的汽缸设计以及查尔斯·劳伦斯的劳伦斯J型发动机演变而来。劳伦斯没有经费实际生产自己所设计的发动机。在海军的压力下，伦奇勒为莱特航空公司收购了劳伦斯的公司。这一决定令伦奇勒不快，也是导致他离开莱特航空公司的部分原因。赫伦加盟莱特航空公司一段短暂时间，对“旋风”发动机做最后设计。赫伦的工作也大大

影响了普惠公司星形发动机的设计。

正是莱特航空公司使伦奇勒聚集了第一批人员，他们后来成为普惠公司的核心力量。乔治·米德1915年毕业于麻省理工学院，曾在莱特-马丁公司任试验工程师，还曾任麦库克菲尔德陆军研究人员。他是杰出的规划人员，了解制造工作的实际要求和动力装置的设计理论。唐·布朗是优秀的工厂经理和商人。安迪·威尔古斯是设计师，“可以用手指思考”。人们说他简直凭“感觉”就能对部件进行正确的设计。查理·马克斯是工具采购专家。杰克·博鲁普是一个耿直的车间主管。米德、威尔古斯、马克斯和博鲁普早期都曾在克兰-新普莱克斯公司的传奇式人物亨利·克兰手下工作过。克兰曾在莱特航空公司任工程部临时副总裁，并与伦奇勒关系密切。

莱特航空公司在与寇蒂斯和新兴的帕卡德公司竞争中表现不错。“我认为从整体而言把莱特航空公司评为那个时期杰出的发动机公司是公正的。”伦奇勒后来回忆道。

“我当时在那里就意识到，除非找到某种方式继续投入航空工作，否则我将永远不会快乐。”

但是，伦奇勒作为公司高管并不快乐。他实现了创建成功发动机公司的目标，公司经营状况良好，但是整天思考为莱特航空公司赚取利润，这件事却困扰着他。伦奇勒说，董事会“几乎全是由投资银行家所组成，没有一个人真正了解我们所做的努力。”1924年9月，伦奇勒提出辞呈，当时他并不知道自己下一步要做什么。

他认真思考了几个月之后，决定不回汉密尔顿的家族公司。他说道：“我当时在那里就意识到，除非找到某种方式继续投入航空工作，否则我将永远不会快乐。”

“非常确定的是，最好的飞机只能围绕最好的发动机进行设计。”

对如何切实地从事航空业进行深思熟虑之后，伦奇勒的远见因围绕一个中心思想而变得清晰：“非常确定的是，最好的飞机只能围绕最好的发动机进行设计。”（后演变为“发动机是飞机的心脏”这一说法。）[2]

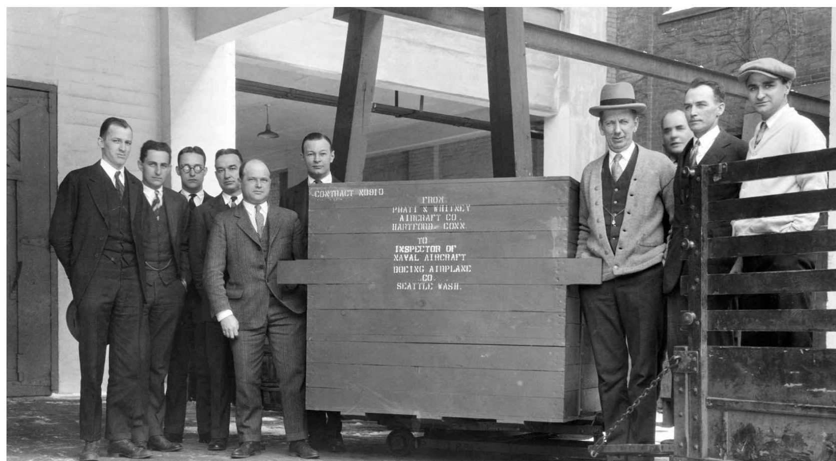
从头开始

刚刚起步的航空业有很多机会。历史学家喜欢将事物联系在一起，人们可以画一条线，将一战期间英国和德国的海军竞赛联系到1921年华盛顿海军限制条约，再联系到伦奇勒眼中所看到的机会。华盛顿海军限制条约规定了世界海军大国船只的最大吨位。当时美国海军正在建造两艘大型巡洋战舰，“萨拉托加”号和“列克星敦”号。作为炮舰，这两艘战舰因超过吨位而不允许建造，但可以将其改装成新型战舰，即航空母舰。因此，1925年美国海军就有两艘在建的最大航母，大约需要200架新飞机上舰。

海军促使莱特航空公司参加气冷式星形发动机计划，但又担心只依赖一家公司不妥。1925年初，伦奇勒造访海军航空局局长威廉·莫菲特海军上将，这是一位在战斗中坚强的斗士。伦奇勒向他寻求帮助，请他为遭遇战后削减国防开支影响的航空事业提供经费。伦奇勒说，他可以组成一个团队，制造出一款超过400hp [3] 的轻型气冷式星形发动机。这种发动机可以使200架新飞机登上“萨拉托加”号和“列克星敦”号航空母舰。莫菲特和海军航空局发动机科长尤金·威尔逊将军 [4] 大力支持伦奇勒，他们早就从莱特航空公司了解了伦奇勒。但是，莫菲特明确指出，无法提供研制资金。如果伦奇勒能做，海军感兴趣。如果第一架飞机研制成功，才有可能为一些试验发动机提供所需资金。

伦奇勒家族的关系此时发挥了作用。伦奇勒在国家城市银行工作的兄弟戈登了解到奈尔斯-比门特-庞德公司正在与康涅狄格州哈特福德的普惠机床公司联系，希望用部分多余资金投资新企业。[5] 康涅狄格州是建立新公司的理想地点，因为新公司需要精密的制造技术。

美国机床工业已在该地区初具规模，从伊莱·惠特尼和斯普林费尔德·阿尔莫里家族时代开始，世界上一些技能最好的钣金工居住在该地区，今天仍然如此。



第一台“黄蜂”发动机交付海军。

也许并非巧合，奈尔斯-比门特-庞德公司的董事长詹姆士·卡伦是乔治·伦奇勒的老朋友。卡伦曾经营的奈尔斯制造公司就在伦奇勒的汉密尔顿工厂隔壁。弗里德里克·伦奇勒同卡伦见面非常方便。伦奇勒向他介绍新的飞机发动机公司计划，他需要25万美元的初始投资（之后可能还需要100万美元），还需要机床和场地等。于是，卡伦将老朋友的儿子带到哈特福德去见普惠机床公司的人们。他们喜欢伦奇勒的主意并带他看过一些场地，而且可以立即使用。那是位于州府大街上的波普-哈特福德汽车厂旧址，当时那里布满各种店铺，出售康涅狄格州河谷出产的雪茄烟草。[6]

随着商务谈判取得进展，伦奇勒联系了在莱特-马丁公司的旧日好友。1924年辞职时，伦奇勒曾许诺，如果他再次从事航空方面的工作，将告诉他们。显然，这些旧日好友也和伦奇勒一样，对莱特航空公司的投资银行家董事会不满意。由于伦奇勒沉稳的领导风度以及对航空的激情，乔治·米德、唐·布朗、杰克·博鲁普、查理·马克斯和安迪·威尔古斯都同意从莱特航空公司辞职来到哈特福德。[7]



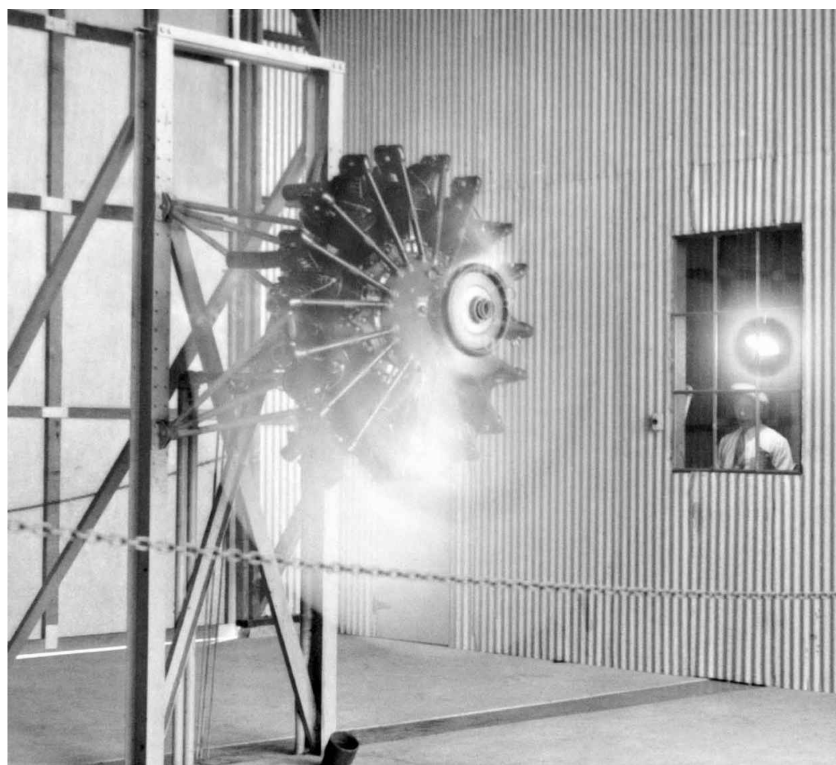
在新泽西修车店工作的厄尔·莱德和安迪·威尔古斯。

1925年7月14日，创立普惠飞机公司的合同正式签署。[8] 伦奇勒和米德共有一半公司股份，普惠机床公司拥有另一半股份和为新发动机公司预付资金而得的优先股权。伦奇勒特别坚持的是，尽管奈尔斯-比门特-庞德公司在6人董事会中占有两个席位，新公司将完全独立于奈尔斯-比门特-庞德公司和普惠机床公司之外。伦奇勒不想在莱特航空公司的经历再次上演。

尽管哈特福德的设备还没有腾空，到处堆满烟草，制造发动机的设备尚未安装。但米德和威尔古斯就在新泽西州蒙特克莱的威尔古斯修车店里开始为海军设计新发动机。参数很简单，发动机至少要达到400hp，重量 [9] 不超过650lb [10] 。那时，没有人能制造出接近这些参数的发动机。

那时，航空界存在诸多激烈的争论，刚组建的公司就卷入其中之一：气冷式发动机与液冷式发动机之争。液冷式发动机的支持者认为液冷式发动机比气冷式发动机可以产生更大的马力，由于流线性更好，问题也少得多。包括新普惠公司的气冷式发动机倡导者辩解道，最新工程技术能够提供马力大、重量轻的气冷式星形发动机。

如果设计安装恰当，其较大的迎风面不比液冷式发动机“迎风阻力”大，而且其具有较大马力所需要的全部冷却性能。使用气冷式发动机比使用液冷式发动机的飞机体积更小、重量更轻、速度更快。在海军航空母舰上起飞和着舰，甚至弹射起飞，气冷式发动机比液冷式发动机更加牢固，因为液冷式发动机装有散热器和软硬管路，复杂而易损。



在州府大街工厂试验的“黄蜂”发动机。

威尔逊在海军航空局发动机科的前任科长布鲁斯·莱顿少校曾称气冷式星形发动机是海军的伟大希望：

液体冷却飞机比气体冷却潜艇更不合常理。……那些管路的每磅重量都需要机翼和尾翼提供另外1lbf [11] 的推力来带动。但是使用气冷式发动机，我们可以扔掉这些管路，将其重量换成载量，使用的飞机就比较小。飞机上舰，体积要小，否则就不要。

普惠公司始终坚持使用气冷式星形发动机，认为这种发动机为更

大马力和更高可靠性提供最佳途径。然而，后面我们将看到，有一个突出的例外，也是公司的一大遗憾。

起步

随着工厂在1925年7月逐步准备就绪，米德和威尔古斯正在蒙特克莱的修车店里不停地工作着，他们还需要一些额外帮助。这样普惠公司就有了所谓的首批员工。原班人马搬到哈特福德前没有人拿一分钱。米德和威尔古斯需要一名助理，威尔古斯就雇用了老朋友厄尔·赖德。伦奇勒自己出钱给赖德发工资，赖德则是从普惠飞机公司领取薪水的第一个人。

1925年8月，哈特福德的一切准备就绪。伦奇勒及其团队偕同家眷一起进驻，如他所说："离开故土向东迁移。"后来的生活中，他回忆时略带淡淡的思乡之情：

那里没有商会或"扶轮社"的代表欢迎我们。我可以如实地说，我们静悄悄地搬进哈特福德的新家，社区甚至没有激起一丝涟漪。但以公正的态度看待我们的新社区，应完全诚恳地指出，这个世界上没有任何理由让他们对我们予以任何关注。8月3日一早，我们大家各就各位投入工作。

他们有3个办公室，伦奇勒、米德和唐·布朗作为工厂经理各一个。还有一个办公室是绘图室。安迪·威尔古斯自己和设计师们以及另外两个人在绘图室工作。杰克·博鲁普和查理·马克斯到机床厂探查，寻找设备和能够制造第一台发动机的人员。米德把图样给布朗。布朗还兼任采购代理，因为工厂还没有太多事情需要管理。布朗再把图样通过他办公室墙上的一个小洞传给博鲁普。博鲁普坐在一个小平台之上，而平台就在"工厂地板"上。[12]

米德和威尔古斯推出的设计方案在当时是一项突破。那时，星形发动机的转速极限是1800r/min。新设计采用拼合式而不是实心曲轴，锻造而不是铸造曲轴箱。减轻重量的实心主杆，使正常工作转速为1900r/min，俯冲时高达2400r/min，而且汽缸中的压力较高。他们的目标是汽缸容积为1340in3 [13] 时标称额定功率为420hp,从而确保达到海军400hp的要求。因为重量较轻，该设计可以允许汽缸较大容量，达到1340in3。最接近的竞争对手莱特-西蒙的设计汽缸容量只有1140in3，转速仅为1650r/min。米德和威尔古斯还制订出一个方案，用实材加工散热片，这样散热片较薄，可以在一个汽缸上安装更

多的散热片。

1925年圣诞节前夜，第一台发动机组装完毕。董事会成员爱德华·迪兹兑现了其承诺，如果发动机在圣诞节前完工，他将为每个人发一只圣诞节火鸡。因此20多名员工依次排队，从伦奇勒太太和米德太太那儿领到盛满节日食品和火鸡的篮子。

发动机造成了，但起个什么名字？伦奇勒后来回忆道：“在我们的小组内反反复复提出了几十个建议。最终，我们开始集中到以‘蜂类’作为我们发动机型号的通用命名。根据所收集到的最好方案，我的太太菲伊建议我们的第一个产品取名‘黄蜂’。”

发动机有了名字，重量几乎恰为650lb，但是能否达到性能规格要求？发动机能否起动？能！而且第三次试车时就达到425hp。

成功

弗里德里克·伦奇勒不是那种说大话的人，但人们从他对那天的回忆中几乎可以看到他当时的欢快笑容：“它（‘黄蜂’发动机）运转起来干净利索，看起来它简直就像只纯种猎犬。这些特征在之前的航空发动机中还从来没有出现过。”

海军的试验于1926年3月开始，“黄蜂”发动机都顺利地通过每次测试。[14]



“黄蜂”发动机搭乘“萨拉托加”号航母及其姊妹舰“列克星敦”号来证实自己。

1926年5月5日，进行了首飞，那时钱皮恩中尉驾驶着装有第二台试验发动机的莱特“阿帕奇”飞机从华盛顿特区阿纳科斯提亚河边经过整修的泥泞平地上起飞。随后，海军把“黄蜂”发动机装配在波音F2B、寇蒂斯“鹰”和沃特O2U-1“海盗”上。在每种飞机上，都像伦奇勒的“纯种猎犬”。1926年10月，这个新公司得到它的第一个合同，为海军生产200台“黄蜂”发动机。1927年2月，工厂每个月可以生产15台发动机，而且产量在稳步上升。另一种新的525hp“大黄蜂”发动机

正在普惠公司热火朝天地进行研制，蕴含了伦奇勒对不断投资和产品改进的理念。

1929年对两种发动机的决定性考验到来了。两艘航空母舰“萨拉托加”号和“列克星敦”号载着200架装配“黄蜂”和“大黄蜂”发动机的飞机驶向大海，开始大规模演习。在3个月的时间内，共飞行2100架次任务，累计6000h，发动机没有发生任何故障。根据公司的传说，“萨拉托加”号航母的随军牧师向这些“可信赖的发动机”致谢，这就是著名的普惠公司箴言的来历。这是一个好故事，但是该箴言在1929年之前就用在公司的“鹰”标志上。实际上该牧师仅在讲道文稿中使用了“可信赖的发动机”。关于“可信赖的发动机”如何出现，没有现存记载。但在20世纪20年代，“可信赖的发动机”是重要的话语，用来说服人们，航空远非勇敢人士的流行时尚，更不是有勇无谋之辈的鲁莽之举。

“根据公司的传说，‘萨拉托加’号航母的随军牧师对这些‘可信赖的发动机’致谢，这就是著名的普惠公司箴言的来历。”

直到今天，普惠公司仍沿着其开辟的航道前进，两种发动机在不断改进。R1340“黄蜂”最终达到600hp，R1690/R1860“大黄蜂”达到875hp。从1925年到1960年，普惠公司制造了近35000台“黄蜂”。从1926年到1942年制造了近3000台“大黄蜂”。两种发动机为160个不同型号的飞机提供动力。1931年，公司一直致力于研制双排星形发动机，其功率更大，让飞机飞得更快，载重量更大，航程更远。尽管发动机体积和迎风面更大，但不增加阻力。14汽缸的“对黄蜂”与“黄蜂”和“大黄蜂”相比，功率达到1350hp。在20年的生产期内，共制造了173618台“对黄蜂”发动机，这个数目令人惊讶。这些发动机的汽缸容量分别是1830in3和2000in3，用于约80个不同型号的飞机。

如今，航空航天已如伦奇勒所预见的成为全球性行业，拥有数十亿美元的研发项目。将现在与1925年的那些日子相比较，非常有意思。那时，6名工程师，20来个车间工人用了9个月的时间，只花了202713.29美元就设计和制造出3台原型“黄蜂”样机和第一台“大黄蜂”发动机。

搬家

20世纪20年代，普惠公司的规模不断扩大，这不断地引起人们的关注。公司的快速发展超出了波普-哈特福德老厂的容纳能力，需要更多的厂房扩大生产。因此，伦奇勒和公司又一次打起背包搬家，好在这次走得不远，刚过康涅狄格河，他们买下了1100acre [15] 土地，其中大部分是种植烟草的田地。1929年，普惠公司搬到东哈特福德南端缅因街的现址。 [16]

普惠公司还有另一个原因需要搬迁。伦奇勒和他的团队那时基本上与所有的早期飞机公司合作。这时，他看到了机会，就是通过联合各种力量来实现建立繁荣的充满生机的航空工业的远景。因此全新的公司总部需要更大的空间，新公司取名联合飞机与运输公司。伦奇勒自己的话描述了那时的情景：

我们开始意识到，为了继续与快速发展的航空业保持同步，我们需要与联盟公司密切合作，特别是在飞机制造和运输方面。我与威廉·波音和钱斯·沃特的密切关系使我们的合作顺理成章，因为事实已经证明这样做我们将大获成功。鉴于此，以更加有序、高效的方式联合起来的可能就自然地出现了。…… 接下来，波音、沃特和我开始讨论合并公司的可能性。

由3位航空业的开拓者组建的联合飞机与运输公司令人称奇。公司当时被人诙谐地称为“天上的通用汽车公司”。联合飞机与运输公司包括波音飞机公司、加拿大波音飞机公司、汉密尔顿标准螺旋桨公司、诺斯罗普飞机公司、普惠飞机公司、普惠加拿大公司、西科斯基航空公司、斯蒂尔曼飞机公司和钱斯·沃特公司。此外，公司还有业务日益发展的3个运输公司：波音航空运输公司、太平洋航空运输公司和斯托特航空服务公司。新公司还拥有康涅狄格州联合机场公司以及加利福尼亚州联合机场公司。 [17]

威廉·波音任新公司的董事长，伦奇勒任总裁，沃特任副总裁。技术委员会由米德、波音公司的克莱尔·艾格特威特、汉密尔顿航空公司的托马斯·汉密尔顿、标准螺旋桨公司的弗兰克·考德维尔、约翰·诺斯罗普、普惠公司的莱奥纳多·霍布斯以及伊戈尔·西科斯基等人组成。 [18]

1929年，第一份公司年报自豪地宣布联合飞机与运输公司“在世界航空领域的任何公司中占据独特、大概也是最强大的地位”。用华尔街现在的话说，他们有“好的数字”。1929年，公司销售额为3150万美元，利润为830万美元，资产2740万美元，现金近1600万美元。

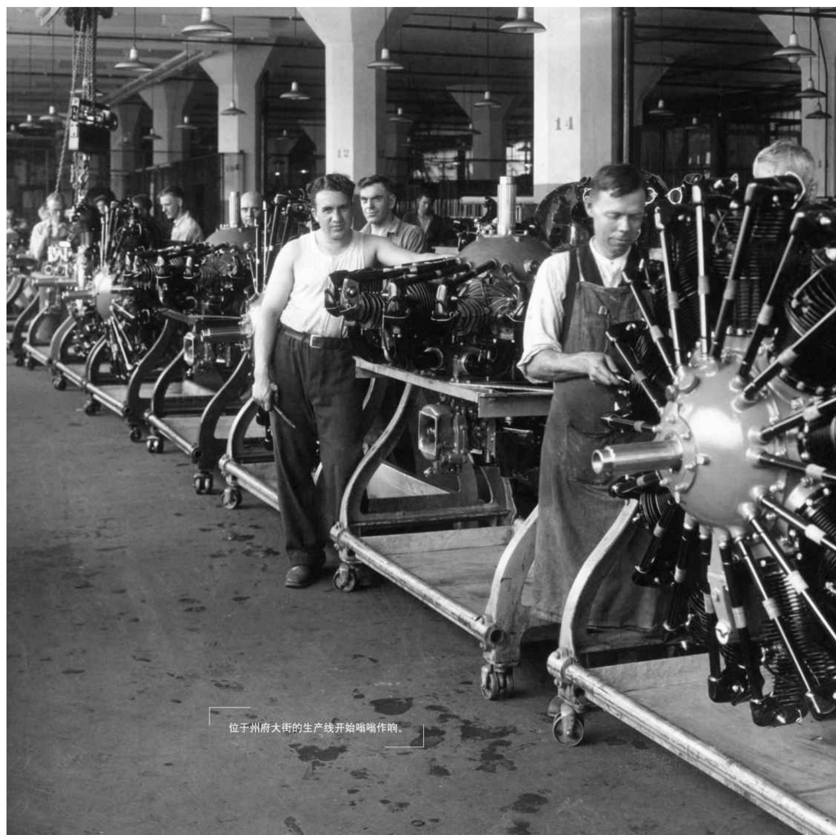
伦奇勒的三大原则：对航空充满激情、技术超群和良好的业务做法，在1929年的年报中得以阐述。联合飞机与运输公司的每个分公司都“有创纪录的成功绩效,并以杰出的方式为航空进步做出贡献。联合飞机与运输公司所占据位置的实力在很大程度上归功于各分公司无与伦比的工程人员”。

1930年，普惠公司员工增加到约1000人。同其他所有公司一样，普惠公司也有关于过去美好日子的故事和传说。1926年，耶鲁大学工程系的年轻毕业生H.曼斯菲尔德·霍纳加入公司任“库管员”。人们自然而然地叫他“杰克”·霍纳，后来他成了普惠公司的领导，随后又任联合飞机公司董事长。他退休后回忆当年曾从一家供应商跑到另一家供应商，为的是买几个电镀螺栓，挑选一些曲轴。20世纪20年代末，他负责发工薪，包括夜班人员。公司给大部分人发现金，每小时30美分。霍纳回忆半夜发工资时胆战心惊的情形：

我向老板抱怨，怕有人在半夜会打破我的脑袋，人们要到第二天早上才能发现我。为了安全，他给我一支0.32口径的手枪，并叮嘱我绝不要乱开枪，只要显示一下我带着家伙呢，这样我就安全了。是的，以后再也没人找我的麻烦。

多年后，往东哈特福德送工资要坐装甲车，仍然发现金。街道被封闭，普惠公司的保安和警察携带手枪和猎枪负责警卫工作。

另一则故事讲的是从普惠机床厂调来的门卫。查尔斯·林德伯格在他完成著名的跨大西洋飞行后不久到普惠公司参观。这个“孤独之鹰”提前1h到达，在工厂到处转悠。欢迎代表团的人等了半天也没有接到人，就到处找他，等发现他时正被拿着扫帚把子的门卫押着。



位于州府大街的生产线开始嗡嗡作响。

卡罗尔·布鲁克斯是个会计，从哈特福德非常“美国”式的、保守的保险业来到普惠公司。他到公司工作的第一天，穿着最好的西装，打着领带。布鲁克斯回忆，他被立刻告知，“你早上来公司上班时，请脱掉你的西装”。与保险公司的刻板氛围相比，普惠公司肯定不一样。“这里，到处可见高管们只穿着衬衣四处奔忙，说话泼辣风趣，你从来没有听到过。他们每隔一会儿就凑到一块儿，然后又分头冲向车间，像足球队员那样。”布鲁克斯起初感到惊讶，但很快就习惯了，“我在所有事情上也跟上他们的步调了。”

年复一年，情况缓慢地发生着变化。一位普惠工程师回忆，20世纪60年代末从大学毕业直接到公司工作的情形，自己打扮了一番，鲜艳的双排扣上衣，宽领带，喇叭裤，火箭鞋。“回家去，换好衣服再来。你不能穿着睡衣来普惠公司上班。”他被表情严肃的上司训斥道。

有很多关于车间主管杰克·博鲁普的故事，他讲话声调很高，常常伴有盎格鲁-撒克逊式抑扬顿挫的腔调。据说车间曾经发出一个未经博鲁普批准而要求进行更改的通知。当他看到该通知时，即拿起电话，拨通在通知上签字的人，只说了一句“我还在这儿呢！”就摔掉电话。在公司史料记载，机械师约翰·阿伦森回忆受到博鲁普训斥的情况，但后来博鲁普却搂住阿伦森的肩膀：“约翰，你做得不错。”主管安慰道：“这是给你的一个小小的教训。干我们这行，你要有厚脸皮，和大象一样。”

随着20世纪30年代到来，弗里德里克·伦奇勒和他的同事们看来已经踏上通往世界级航空业公司的愿景之路。然而，事实证明，那个年代对他们、对公司以及对他们在短短几年内帮助这个行业起步来说是非常艰难的时期。

---

[1] 伦奇勒的所有直接引语都源自私人出版的1950年回忆录《普惠飞机公司报告》，另有说明除外。

[2] 伦奇勒的“发动机是飞机的心脏”这句话常被引用。实际上，他没有发明这句话。伦奇勒说，这句话是公司的第一位公共关系人员乔治·维特所言。

[3] 1hp＝735.499W。

[4] 威尔逊后来加入联合飞机公司，同伦奇勒一起工作，并升任总裁兼副董事长。

[5] 普惠飞机公司两次被从原普惠公司撤销。弗朗西斯·普拉特和阿莫斯·惠特尼从山姆·考尔特的哈特福德手枪工厂当机械工起步。他们1860年组建了自己的公司，以机床的测量精度而闻名。基本上，是他们创立了前所未有的商用标准英寸测量法。待普惠飞机公司成立时他们早已过世。

[6] 公司传说，当工厂第一批人员搬入时，那里到处是打包的烟叶，工人们不能在车间抽烟，就撕下一把烟叶大嚼起来。在康涅狄格州河谷烟草种植园长大的作者可以作证，这种滋味只有亲口尝一尝才能体会到。

[7] 据说，除了乔治·米德和唐·布朗，从来没有人称呼伦奇勒为“弗里德”，其他人都称呼他“伦奇勒先生”。

[8] 普惠飞机公司从来没有真正制造过一架飞机，尽管其名称上有“飞机”二字。对于康涅狄格州很多人来说，普惠公司仍是“飞机公司”，在那里工作的人们是“造飞机的”，或“普惠耗子”。

[9] 本书中的重量是质量的概念。

[10] 1lb（磅）＝0.453kg（千克）。

[11] 1lbf＝4.448N。

[12] 开始的设备包括两台车床、两台铣床、一台钻床、两台磨床、一台卧式和一台立式手动铣床、一台摇臂钻、两把小型钻和一些带老虎钳的工作台等。

[13] 1in＝25.4mm。

[14] 第一台“黄蜂”发动机从未飞行。初始试验完成后，即捐献给费城富兰克林学院供展览。现在由美国国家航空航天博物馆收藏。

[15] 1acre＝4046.86m2。

[16] 该厂址可能是唯一一座建有独立战争战士墓的航空业工厂。康涅狄格州托兰德的赫曼·贝克中士长眠于此。1776年9月，他被英国人俘虏而扣押，后感染天花被释放。1777年1月21日，他在返回家乡途中病逝。

[17] 联合机场公司如今鲜为人知。康涅狄格州运营公司建造了伦奇勒机场，紧挨着东哈特福德的公司总部。20世纪90年代关闭，现在是康涅狄格大学足球场，人们仍称之为伦奇勒机场，或“伦特”。加利福尼亚州联合机场现在是伯班克航空候机楼，1929年曾骄傲地宣称“距好莱坞只有15分钟车程”。

[18] 汉密尔顿航空和标准钢公司此时已经合并。故事是这样的，标准钢公司的托马斯·汉密尔顿与哈利·克雷林两人合不来，于是汉密尔顿被派往洛杉矶，任洛杉矶地区快速发展的飞机公司的销售员，并监管加利福尼亚州联合

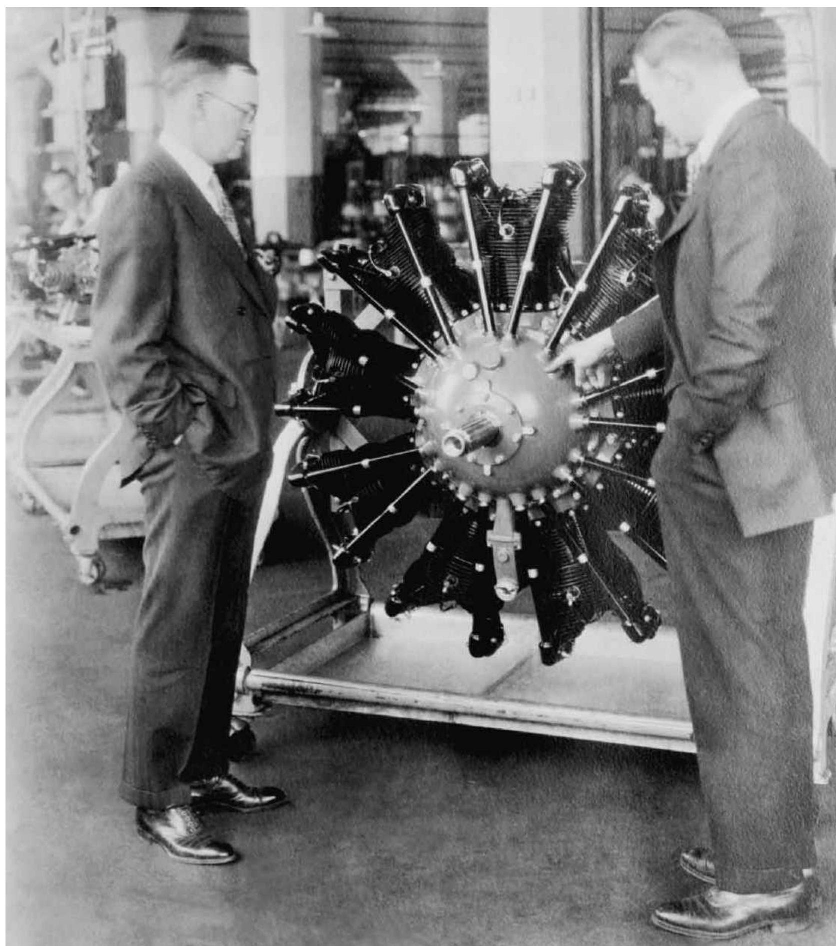
机场公司。他在洛杉矶—好莱坞场面上成为抢眼的人物，经常被描述为早期高管中最多彩的人物。后来，他在二战前夕的欧洲任美国销售代表发挥了杰出的，有时又是充满争议的作用。

第2章 乌云笼罩在地平线上

尽管20世纪30年代“黄蜂”和“大黄蜂”发动机技术的成功仍在继续，但那时是普惠公司历史上最艰难的时期。像其他所有公司一样，普惠公司也受到“大萧条”和国防预算极度紧缩的冲击。此外，公司还成为罗斯福“新政”的一些改革所针对的目标，关系紧密的公司创始人之间也开始相互指责。尽管“黄蜂”和“大黄蜂”发动机大获全胜，但也出现了来自莱特和艾利逊的激烈竞争。

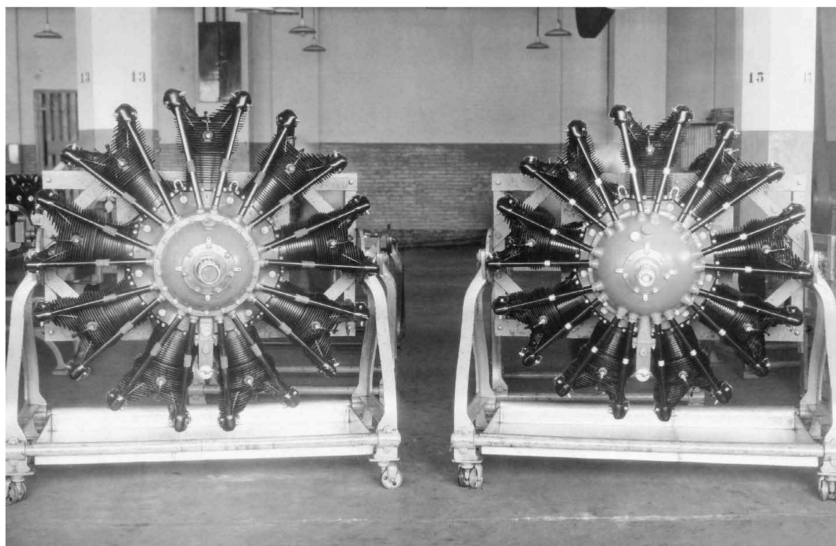
天路

虽然普惠公司最初的成功来自军用产品，但是不久其商用航空运输开始发挥巨大作用。普惠公司团队过去总是围绕着较大的大功率发动机制订计划。他们还没有形成那种概念，即每个美国人都将有一架小飞机停放在家用小汽车旁边。但结果证明，“黄蜂”和“大黄蜂”发动机遇到了千载难逢的好时机。



威廉·波音和弗里德里克·伦奇勒视察为波音航邮公司提供的第一台“黄蜂”发动机。

20世纪20年代中期，几个因素综合起来使航空运输走出了牛场草原，也超越了乘坐安装“自由”发动机的“珍妮”飞机旅游观光的范围。莫罗委员会和国会兰珀特委员会认为，美国的航空工业弱小，基础不牢，几乎每个欧洲国家都远超美国。他们的建议归结为一点，必须制订一项持续的长期军用飞机计划。为此，政府应该建立资金充足、技术过硬的航空工业。政府应该改变自己制造飞机的做法，而是采用在一个公司研制出新飞机或发动机后将生产合同给报价最低投标方的做法。随着这些建议出台了一些具体法案，诸如1925年的《航空邮政法》和1926年的《航空商业法》，应该说这些法律奠定了美国商业航空的基础。



“黄蜂”发动机及其兄弟“大黄蜂”。

航空邮政是一个关键问题，因为在20世纪20年代中后期还无人知晓如何建立运载乘客的航空运输业务。航空邮政将威廉·波音和弗里德里克·伦奇勒拉到一起，可以说那是组建联合飞机与运输公司的关键。

“是航空邮政将威廉·波音和弗里德里克·伦奇勒拉到一起，可以说那是组建联合飞机与运输公司的关键。”

邮政部的美国航空邮政服务局开创了20世纪20年代早期的航空运输。查尔斯·林德伯格在那里开始了其职业生涯。1925年，有足够的制度让国会授权将航空邮政服务交给私人承包商。1928年，波音航空运输公司赢得芝加哥到旧金山的航空邮政航线，那是美国最长的航线，报价为2.89美元/磅。最接近的竞争对手报价是5.09美元/磅。竞争对手们心存疑惑，指责波音公司压低报价以确保其飞机市场并垄断航空邮政业务。竞争对手们是从当时DH-4标准邮政飞机的观点看问

题。DH-4在理想条件下仅可搭载500lb的邮件，而通常仅运送250～350lb邮件。波音公司设计了狭长的新航空邮政飞机40-A（及后来的40-B），而且威廉·波音听说了很多关于新“黄蜂”发动机的情况。与使用“自由”发动机的DH-4相比，40-A/B使用“黄蜂”发动机能搭载1500lb邮件和两位乘客，每个航程可增加400美元的收入。这些数字起了作用，波音航空运输公司赢了。

波音、伦奇勒和沃特组建联合飞机与运输公司时，航空运输是关键因素。他们很快纳入了太平洋航空运输公司、瓦尼航空公司、国家航空运输公司和斯托特航空公司。这些公司都在一个新的子公司——联合航空公司的管理之下。

波音邮政飞机的成功致使其他飞机制造公司开始转向采用“黄蜂”和“大黄蜂”发动机来制造他们的商用运输机。福特公司的“三发”飞机，福克公司的单发和三发飞机，西科斯基公司的水上飞机，艾伦、马尔科姆·拉菲德和唐纳德·道格拉斯全都使用普惠公司发动机。胡安·特里普初建的泛美航空公司和普惠公司在20世纪30年代末引领“飞剪”服务公司飞越太平洋和大西洋，这成为商用航空最富浪漫色彩的时代之一。[1]

航空竞赛的日子

说起富有浪漫色彩的年代，那是20世纪30年代，航空竞赛达到顶点。汤普森奖杯、克里夫兰全国航空竞赛、本迪克斯、壳牌速度竞赛、格兰维尔兄弟和他们的Gee-Bee飞机、吉米·杜利特尔、杰奎琳·考克兰和罗思科·特纳及其莱恩·吉摩飞机都让人们回忆起那些日子。还有威利·波斯特、阿米利亚·埃尔哈特和霍华德·休斯创造了速度、续航和距离的纪录。使用普惠发动机的航空竞赛选手在战前的9次本迪克斯赛事中赢得8次，在11次汤普森奖杯赛中赢得8次。当1949年最后一次汤普森奖杯赛中获胜选手库克·克莱兰滑行回来，他驾驶的固特异公司的“海盗”飞机是战时剩余物资，配备巨大的普惠公司“主黄蜂”发动机。



罗思科·特纳大概是20世纪30年代最光彩照人的航空竞赛选手。

关于那些航空竞赛的日子，有不胜枚举的精彩故事。有一年在汤普森赛事上，罗思科·特纳穷困潦倒，不得不向普惠公司代表借件干净衬衫，好出席赛前的晚宴。普惠公司还为他的晚宴买了单。特纳获胜后为普惠团队和他能找到的任何人举办了香槟酒鱼子酱派对，出手阔绰花掉了大半奖金。

H.M.“杰克”·霍纳最终担任联合飞机公司的董事长。他回忆道，普惠公司经常为参赛飞行员提供发动机，来支持公关活动。就连如果飞行员赢得任何奖项，也希望能收回部分资金。20世纪30年代，就连霍华德·休斯进行试飞，为创造跨美洲大陆飞行速度纪录做准备，当时普惠公司还为休斯提供了一台发动机。霍纳退休后在一次采访中说，他没有意识到休斯的身价实际能值多少钱。当这位亿万富翁忘了为普惠提供的发动机付钱时，霍纳有点愤愤不平：

我们看到报纸报道，他和他的女朋友要乘坐私人游艇到布洛克湾周围某个地方游玩。周末我就到那里去钓金枪鱼。我们恰好遇到他的游艇。我用渔船上的扩音喇叭大声喊叫：“霍华德，你开的那张支票到底在哪里？”他没有在甲板上露面，我不知道他听到我的话没有。但是，最终我们收到了付款，信不信由你。

跌跌撞撞

20世纪30年代初，无论有没有“大萧条”，看来普惠公司20年代末的成功还在继续。尽管预算不大，但其军用业务已站稳了脚跟。航空运输业务正在起步，航空竞赛为普惠公司赢得盛名。但是，乌云正在普惠公司上空集聚。



“杰克”·霍纳追着要账的霍华德·休斯。

波音公司在1930年设计了具有争议的第一架真正意义上的现代飞机——波音247。这是一款下单翼全金属流线型双发飞机，起落架可收放。它自然要使用普惠发动机，这一切在联合飞机与运输公司的大家庭中都能得到解决。但是，使用普惠的哪种发动机？普惠工程师想要使用“大黄蜂”，当时飞机总重为16000lb。但是，联合航空公司的飞行员说他们不飞那种东西。他们喜欢“黄蜂”发动机，并说16000lb的飞机对当时的机场来说太重了。波音工程部门的一些人对较大较重的设计也持怀疑态度。因此波音247缩小到12000lb，可搭载12名乘客。飞机1933年投入运营，使用“黄蜂”发动机。



革命性的波音**247**客机。

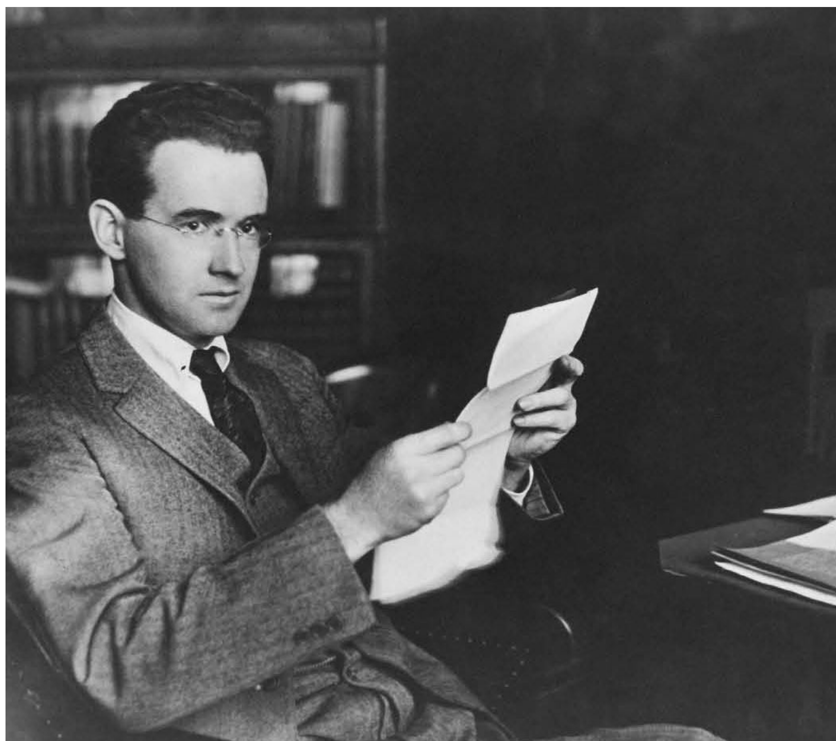
在南边的洛杉矶，唐纳德·道格拉斯看到了一个机会。他想利用莱特航空公司“旋风”发动机制造一款飞机，其马力大致与原来预想用于波音247飞机的“大黄蜂”的马力相当。道格拉斯首先制造了DC-2，然后是杰出的DC-3。他所涉足的市场是开放的。而波音公司和联合航空公司都是联合飞机与运输公司的组成部分，所以在联合航空公司的订单完成之前，没有其他航空公司试图购买波音247飞机。于是，其他航空公司蜂拥转向道格拉斯公司。

联合飞机与运输公司的庞大机构使其逐渐失去前进的动力，更糟糕的还在后头。这段插曲有时被称作“航空邮政丑闻”。1934年，“大萧条”大概到了最严重的时刻，全国对金融家和权力掮客极度不满，人们指责他们造成经济崩盘。此外，反对军火制造商的潮流也在涌动着，这大概是一战后“死亡商人”年代留下的遗患。富兰克林·罗斯福在华盛顿颁布了“新政”。在国会内，雨果·布莱克后来成为最高法院助理法官，开始对航空邮政合同是如何签订的，以及公司高管拿到多少钱进行听证。关于公司获得的利润以及个人的巨额财富，波音、伦奇勒、米德和其他联合飞机与运输公司的高管们受到了无情的严厉盘问。

“航空运输业务正在起步，航空竞赛给普惠公司挣来极大名声。”

支持者们说，航空邮政系统的建立部分原因是为了扶持美国的航空工业，因此，合同只授予财务状况强劲的公司。1930年，邮政局长沃尔特·布朗几乎把所有邮政合同给予了联合飞机与运输公司和其他一些公司，因为他说这些公司经营良好。布朗对布莱克委员会说，在会议上，他“施加了恰当的影响，把存在短板、孤立和风雨飘摇的生产线合并到管理和财务状况良好的系统”。批评者称那次会议是“分赃会议”，而在1934年，这令国家难以接受。

罗斯福总统1934年2月宣布所有邮政合同无效，并命令陆军航空队负责航空邮政业务。陆军飞行员和飞机不适合这一工作，立即就发生坠机事故，5人死亡。罗斯福政府做了让步，但是提出新的立法。1934年底，禁止所有与航空设备制造公司有关系的任何公司接受航空邮政合同。这就意味联合飞机与运输公司到头儿了。应该指出的是，在所有听证和立法的任何时候，都没有发现这个公司或任何个人违反任何法律，虽然整个事件的名声不好。



乔治·米德，普惠公司的一位杰出工程领导人。

伦奇勒后来谈到他的联合飞机与运输公司一揽子赔偿问题，“特别是在20世纪20年代末，这并非出格的安排。如果彻底失败或者不能赚取利润，我们的额外赔偿条款将确实一文不值。”

威廉·波音非常愤怒，基本上完全离开了航空业。伦奇勒也感到愤怒而尴尬，一段时间脱离了日常管理。但是他与公司不弃不离，后来将公司改名为联合飞机公司,由普惠公司、汉密尔顿标准公司和沃特/西科斯基公司组成。20世纪70年代，在哈利·格雷领导下，联合飞机公司成为联合技术公司并且取得巨大发展。

伦奇勒1950年在他个人出版的回忆录中总结了这段苦涩经历：

自然地，普惠公司和联合飞机公司的成功使我们成为“新政”推行者的绝佳目标……攻击一个破产的、对航空业没有任何贡献的公司，说它一无是处，毫无用处。他们必然把主要火力转向联合飞机公司。我们唯一的罪行是在这个行业里赚取了合理的利润，而其他公司大多连衬衫都穿不起。

麻烦接踵而来

经历了航空邮政事件风暴，伦奇勒希望未来能更加平静顺利，但事实并非如此。

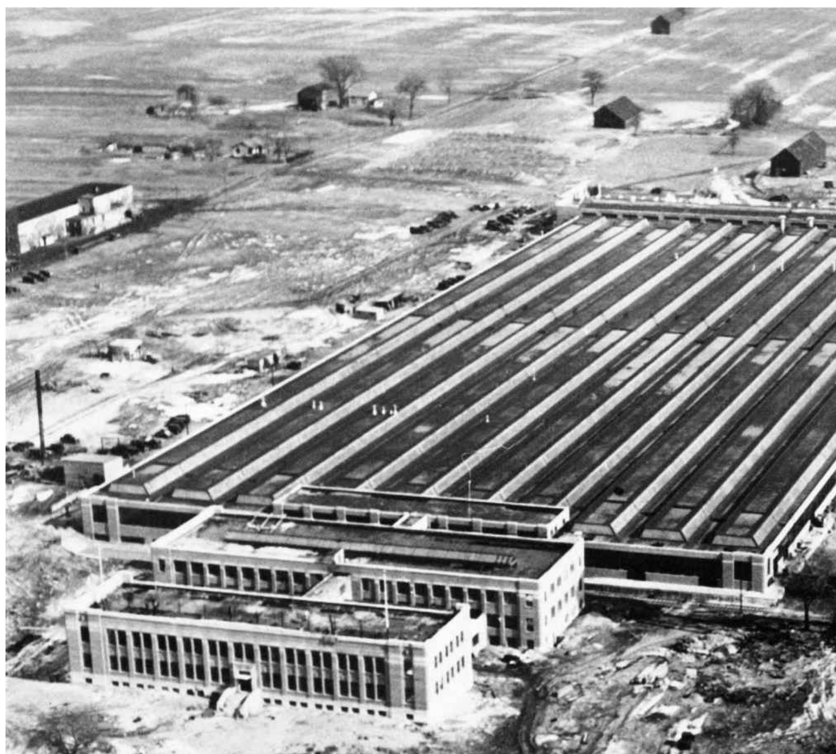
首先，他发现普惠公司变得自满自足。莱特公司及其“旋风”系列发动机以“深思熟虑和全面完美的前瞻性工程计划”杀了回来。陆军指定液冷式艾利逊发动机要用于所有新型战斗机，甚至指示普惠公司开始研制液冷式发动机，然而普惠公司对此毫无经验。

对于弗里德里克·伦奇勒的清晰头脑而言，“至少可以这么说，普惠工程部门正在全面开展工作。”20世纪30年代期间，普惠公司有7个发动机研制计划，这还不算陆军的液冷式发动机计划，或继续研制的“黄蜂”以及用于轻型飞机和竞赛飞机的“小黄蜂”。

所有麻烦的一个原因是唐·布朗和乔治·米德两人关系不好，或者更确切地说两人根本互不沟通。伦奇勒成为原联合飞机与运输公司的总裁后，觉得需要任命一个普惠总裁监管日常运营。有两个选择，米德或者布朗。米德说他不想做那个工作，他个人喜欢布朗，但不想在他手下工作。伦奇勒别无选择，只有把这一工作交给布朗。1934年公司分拆后，布朗兼任联合飞机公司总裁。布朗和米德的关系急剧恶化。工程计划失控，米德越来越孤立，时常在自己家里设立的工程办公室工作，发疯般地试图把安装套筒阀门的液冷式发动机设计成功。

1935年，莱奥纳多·“鲁克”·霍布斯担任工程经理，开始梳理各种计划，情况开始有一些转变。那时米德仍然是公司副总裁。伦奇勒称1937年对公司来说是“最糟糕的年份”。“米德与布朗和其他人的关系是如此地纠缠不清，以致他实际上被架空了。”1939年，米德因身心疲惫而辞职。

此外，账面也不像以往那样好了。普惠公司和沃特/西科斯基公司的经营也不佳。实际上，那些漂亮的西科斯基“飞剪”飞机从来没赚到一分钱。由于汉密尔顿标准公司相助，联合飞机公司才摆脱困境。汉密尔顿标准公司握有变距螺旋桨的专利，大家都需要这种螺旋桨。1937年，汉密尔顿标准公司拿到联合飞机公司380万美元，占总利润的51%。



1930年东哈特福德的新工厂。

无论如何，还是有一些鼓舞人心的事情。由于纳粹军事威胁的加大，法国开始订购普惠发动机。不久，英国紧随其后。“鲁克”·霍布斯在理顺工程工作方面取得巨大进展。公司正在集中精力研制R1830和R2000“对黄蜂”以及R2800“双黄蜂”发动机。它们全都是双排气冷式星形发动机，可以和莱特公司的“旋风”相竞争。

“制造航空发动机不是软弱的人能干的事儿。”

但是，另一个打击接踵而来。唐·布朗病了，病得厉害。1939年初，布朗被确诊为癌症晚期。那时人们谈癌色变，布朗没被告知其病情。伦奇勒从医生那里得到消息。伦奇勒最密切的伙伴唐·布朗于

1940年1月去世。[2]

伦奇勒任命1926年加入公司的“杰克”·霍纳管理普惠公司、威廉·格温任新的副总经理。两人后来都成为联合飞机公司的董事长。霍纳接替伦奇勒，格温接替霍纳。

至此，战争正在逼近。为陆军研制液冷式发动机的任务还没有完成。1940年春，哈普·阿诺德将军来到东哈特福德。他和伦奇勒早就认识，两人就液冷式发动机进行了长谈。无论液冷式发动机多么好，也来不及研制成功，不可能为赢得这场迫在眉睫的战争有所帮助。三种双排星形发动机进展顺利，如果能从液冷式项目抽身，公司可以制造3000hp的星形发动机。液冷式项目令米德苦不堪言。阿诺德同意，液冷式发动机项目停止，28缸“主黄蜂”发动机研制工作开始。[3]

当工作变得越来越艰难……

制造航空发动机不是软弱的人能干的事儿。人们对发动机性能和可靠性的要求不像对任何其他制造商所要求的那样。20世纪30年代末的一个故事说明，对于哪怕看起来可能是最小的改装也可能是多么艰难和令人沮丧的任务，并且要找到答案需要进行多么绞尽脑汁的研究和开发工作。



格兰维尔兄弟的**Gee-Bee**竞赛飞机。

霍布斯及其普惠团队集中力量对关键项目攻关，并且普惠团队力求提高产品性能，以便满足未来战时艰难任务的需要。新的R1830-C“对黄蜂”发动机看起来进展顺利。然而主杆轴承在高速俯冲模拟试验中出现卡滞，因此需要找到一种比钢背的铅-青铜轴承更好的轴承。莱特·帕金斯是一个充满智慧的年轻工程师，有一天可能会升任公司领导。他受命负责这个项目，基本上整个工程部门都投入到这个令人发疯的精巧轴承项目之中。[4]

他们尝试了在合金中加锡，也尝试使用纯银，以及只有3/1000in厚的银-铜背铅层。这看来可行，但更多的试验显示，由于某种原因，只运行了几小时后铅就从轴承中消失。于是又开始加班加点，每天12h，每周6天。最终，普惠的工程师们偶然发现，可能不是工作引起的机械磨蚀，而是腐蚀所致。他们曾记得，发动机在运行中，将在润滑油中形成有机酸。有机酸会不会是元凶？结果的确是。但是如何解决这个问题？实际上，他们需要找到一种方法，将铅“变质处理”到轴承中来防止腐蚀。他们尝试了镓、钶和铟分别与锑和锡等进行各种不同组合。最后用铟获得成功。轴承经受住了考验。普惠公司与其他发动机制造商分享了这一发现。随着额定功率和俯冲速度的增加，证明这种新的轴承更耐磨损。

在航空发动机的历史上，普惠公司和整个行业有无数这样的故事。这是一个艰难的行业。

普惠公司及其员工已经准备好，他们要面对从来没有的最大挑战：每年生产50000架飞机所使用的发动机！

---

[1] 泛美航空公司的技术顾问是查尔斯·林德伯格，他曾与普惠公司工程师密切合作。他在普惠公司使用的办公桌仍然保留在公司。1990年，普惠公司举办了成立65周年庆典，在伦奇勒机场进行了航空表演。当机头喷涂“飞剪普惠”字样的泛美A310飞抵时，公司员工爆发出雷鸣般掌声。

[2] 伦奇勒对布朗的病情与过世的描述是他个人回忆录中最感人的部分。他回忆道，1939年，他让布朗到自己在佛罗里达渡假住所休息几个星期，在那里他们讨论了公司重组计划。当他们回到哈特福德时，布朗病情恶化，伦奇勒有压力要做些事情：“我拒绝做任何与进行重要变动相关的工作，因为我知道，这样做肯定向他（布朗）表示这些事情与他的病情有关。”

[3] 普惠公司的老员工喜欢与新员工逗着玩，“除‘黄蜂’和‘大黄蜂’外，以昆虫命名的其他普惠发动机是哪个？”答案是“黄外套”，这是20世纪30年代初的一种液冷式发动机的名字。“黄外套”的一个样品发动机今天停放在普惠公司博物馆H-3730旁边，这种发动机的研制工作在1940年被哈普·阿诺德和弗里德里克·伦奇勒取消。

[4] 在这段时间，帕金斯带一位来访者参观实验室。该来访者细心观看，问道：“实际上，帕金斯先生，你的人只是在管理和控制火候，是吗？”“是的，”这个坦率的南达科他州人答道：“我觉得，那就是所有魔鬼在地狱中要干的事！”

第3章 50000架飞机

几乎航空界的每个人都记得富兰克林·罗斯福总统1940年的号召：每年生产50000架飞机。总统要求完成这一任务，这是历史上最伟大的全行业行动之一。但是在战后兴高采烈的气氛中，人们在某种程度上可能已经忘记了当时航空业的状况。

奋起直追

1938年7月1日开始的财政年度，军事航空方面预算为1.22亿美元，包括飞机、发动机、工具备件和所有项目。航空业有员工36000人，行业资产约1.25亿美元。1950年的普惠公司史料指出，当时针织业比航空业的从业人员多。普惠公司的情况很典型，甚至更糟糕。1938年末，普惠公司的发动机订单额为870万美元。这个任务仅够3000人的员工队伍忙到1939年5月。陆军决定使用艾利逊V-1710作为其战斗机的发动机，替代普惠R1830。看来军用产品交货到1939年6月即告结束，除非有奇迹发生。



罗斯福总统**1940**年参观普惠公司，发出每年生产**50000**架飞机的号召。
弗里德里克·伦奇勒坐在总统的正前方。

而当时的慕尼黑危机及其余波正是对航空业产生巨大影响的奇迹。1938年末，法国工业在第三共和国的政治泥潭中衰败。法国开始转向美国寻找航空供应商，订购了价值200万美元的“对黄蜂”发动机。1939年，法国增加订货，共计8500万美元，还同意为东哈特福德工厂28万平方英尺 [1] 的扩建工程融资。普惠公司雇用了约3000名新员工以满足业务需要。1938年，普惠公司每个月的发动机交货功率达到约12万马力，到1939年末，达到40万马力。1940年，第三共和国解体，法国陷落后，英国订购了用于教练机的“黄蜂”和“双黄蜂”发动机，并接收大部分法国的订单，还为扩建的42.5万平方英尺厂房融资。普惠公司开始扩建另外37.5万平方英尺的厂房，称为“美国扩建”，补充了“法国厂房”和“英国厂房”。 [2]



"对黄蜂"等发动机的生产达到了难以想象的水平。普惠公司及其获许可参与生产的厂家在战争期间共制造了**363619**台各种发动机。

随着美国距开战越来越近，大量的订单使普惠公司开足马力生产。这是巨大优势。此外，伦奇勒、霍纳、格温以及霍布斯和他们的团队在20世纪30年代末整理的研制项目取得成功。回顾一战时期，伦奇勒认为当战争来临时，任何国家都需要有"随时可使用的产品"。"自由"发动机的生产需要付出极大努力，而其对赢得战争帮助很小。到1939年，"黄蜂"、"对黄蜂"和"双黄蜂"都已是随时可使用的产品。

著名航空历史学家沃尔特·博伊恩在他的空战史《空中格斗》一书中指出，战争开始时，德国和日本拥有卓越的飞机，但是已处于他们研制周期的顶点。美国工业则仍处于上升时期，有更新、更好的设计，大约从1943年开始获得相当大的成功。有趣的是，在战争结束时，尽管做了很多改进，但日本和德国在很大程度上仍然依靠Me109和"零式"战斗机。而美国飞行员参战时使用的"海盗"、"悍妇"、"雷电"和"野马"等战斗机在1940至1941年还处于初期研制阶段。

当然，另一关键因素是美国工业的巨大潜力。1940年，当罗斯福总统号召生产50000架飞机时人们大为惊讶。但到战争结束时，美国每年已能生产100000架飞机。

影子（工厂）

普惠公司的战时史话解释了这个大订单是如何完成的。即使所有设备开动，普惠公司靠自己的力量也无法满足全球战争的需要。伦奇勒一直认为应该将发动机多达50%的工作进行转包，以避免普惠公司自身经历订单周期的大起大落。这时就是采取行动的时候。

威廉·克努森是后来的战时生产委员会主管，他说服了已经完全恢复健康的乔治·米德接过对委员会航空任务的监管工作。米德去见伦奇勒，并说服他，对发动机需求快速增长的最佳解决办法是让普惠公司按实际需要尽量扩张，然后把汽车工业拉进来。但不像一战时那样，这次伦奇勒及其团队让汽车行业的伙计们复制航空发动机制造商的技术和设施，即成为“影子工厂”，然后在“影子工厂”中制造普惠、莱特和艾利逊公司成熟的发动机。而普惠公司想从福特汽车公司开始。

> 到战争结束时，美国每年能够生产100000架飞机。

克努森预测福特将在6个月之内制造出航空发动机。而伦奇勒认为需要18个月到两年的时间福特才有可能达到量产。福特公司的工作组来到东哈特福德参观了整个工厂。后来爱泽尔·福特亲自来参观。在看了如何制造航空发动机后，福特公司总经理查尔斯·索森森说：“我们想做和应该去做的是从头开始学习你们的全部工作。”福特公司的工作做得非常好，但伦奇勒比克努森的预测更接近实际结果。福特公司在整整22个月后达到每月生产400台R2800发动机。

普惠与别克汽车公司达成了类似协议，来制造R1830和R2000“对黄蜂”发动机。雪佛兰汽车公司制造“对黄蜂”和“双黄蜂”发动机。纳什·凯尔文内特公司制造“对黄蜂”。大陆汽车公司和杰考布斯飞机公司承担主要用于教练机的单排”黄蜂”和“小黄蜂”任务。

HARNESS YOUR PATRIOTISM—BUILD FOR VICTORY

AIRCRAFT JOURNAL

UNITED AIRCRAFT CLUB

Official Publication United Aircraft Club, Inc.

Volume 2 APRIL 15, 1942 No. 4

Lady of the Lathe



Photos by Ivan

SOLDIERETTE OF PRODUCTION is the new important role to be filled shortly by Miriam Greenleaf of Vinal Haven, Me., who is being shown the intricacies of lathe adjustments at the Defense Training School of Pratt & Whitney Aircraft by its supervisor of training, William F. Grier. Miss Greenleaf is one of about 50 girls who have begun training as machine operators, enlisting in the factory ranks for the duration.

Women Begin Training As Machine Operators

Flier Attacks 6 Jap Planes, Dies a Hero

By NELSON GOODYEAR, JR.

One of the few Army pilots who was able to get off the ground of embattled Hawaii, while the earth was being rocked with the violence of bomb explosions, Lieutenant Gordon H. Sterling, Jr., formerly of Dept. 39-2, P&WA, lost his life when engaging a flight of six Japanese planes, damaging or destroying one before his own was attacked from the rear and shot down by the enemy.

On March 5 in Boston, General Sherman Miles, commanding officer of the First Corps Area, presented the Distinguished Service Cross to Gordon H. Sterling, Sr., posthumous award for his son's "heroism and achievement while



GORDON H. STERLING, JR.,

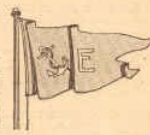
participating in an aerial engagement with Japanese planes over the water adjacent to the Isle of Oahu on December 7." The ceremony was broadcast over the Colonial network and carried in the Hartford area by Station WTHT.

Mrs. Sterling, the flier's mother, said, in an interview, that Gordon had been interested in flying since his childhood, and that he had hoped to make a lifelong career of service in the United States Army Air Corps.

After graduation from the William Hall High School in West

(Continued on Page Twenty Two)

Keep It Flying



Navy Awards E Pennant To Aircraft

"E" for Excellence, says the United States Navy.

"E" for Engines, echo back 20,000 Pratt & Whitney Aircraft employees.

Expressed briefly this was the spirit of the colorful ceremonies held the afternoon of March 24 on Rentschler Field when Rear Admiral John H. Towers, chief of the Bureau of Aeronautics, presented the Navy's cherished "E" pennant to these same employees in recognition of their vigorous war effort. Virtually all of the employees surrounded the speaker's stand for the historic

(Continued on Page Eight)

School Fits First 50 Girls For War Jobs

By NED BENHAM

A program training women to take their places in war industry operating the vital machine tools with which final victory must be produced is now being successfully carried out at the P & W A Training School, Hartford.

Working the second shift there today are some 50 alert, serious women who, in spite of the fact that they have been in training but a short while, are already showing progress satisfactory to H. C. O'Sullivan, Supervisor of Training, United Aircraft, William F. Grier, Supervisor of Training, Pratt and Whitney Aircraft, and James E. Gilman, in charge of the Inspection Training Dept. at the school.

Entering New Field

Bench work, small parts assembly and inspection have generally been considered women's province. P&WA is proving that machine tools can be added to this list. Who can estimate the number of men that may now be released from production operations for other important work?

According to Mr. O'Sullivan, no special privileges are planned for these new trainees. They are on

(Continued on Page Nineteen)

HSP Forms Committee For Production Drive

Organize Plans to Cooperate With Donald Nelson's U. S. Program

A Joint War Production Drive Committee has been formed in the Hamilton Standard Propellers Division of United Aircraft Corporation to operate under the plan sponsored by Donald M. Nelson, Chief of the War Production Board.

The committee is composed of three representatives of management and three of the employees. They are: P. A. Azinger, W. T. Boche and N. E. Decker for management; J. R. Hooker, B. W. Sierpinski and J. W. Uccello for the employees.

Members of the Suggestions Sub-committee are: P. A. Azinger, A. F. Mannella and F. L. Woodcock for management; and B. W. Sierpinski, William Toth

(Continued on Page Seventeen)

Attention! ...Mr. Hitler

The sweeping response with which the Hamilton Standard Propeller and Pratt & Whitney Aircraft Divisions answered the latest War Bond Drive is compellingly reflected in the percentages of the employees signing for payroll deductions.

Deductions for the entire United Aircraft jumped from $215,000 to $525,000 monthly. Both Hamilton plants increased total monthly deductions from $28,000 to $78,000. At the Aircraft the rise was from $153,000 to $399,000.

Hamilton's Pawcatuck Division led the parade with virtually

(Continued on Page Seventeen)

GLEE CLUB HELPS SELL WAR BONDS

Musically speaking, the United Aircraft Men's Glee Club played a leading role in the successful War Bond rallies held earlier this week in Hartford and New Britain. Several thousand persons heard the rousing songs of the engine builders.

Participation at the Bushnell Memorial and Stanley Arena rallies represented a special honor for the club. The men were the only amateurs appearing at either program; nationally famous artists of stage and screen added glamour to the events.

A unique feature of the club's appearance was the warm applause they received when in his introductory remarks, Harry Wood, master of ceremonies at Bushnell Memorial, made reference to the winning of the "E" pennant by Pratt & Whitney em-

Commuting UAC Employees Wear Out 17 Tires a Day

Employees of the East Hartford divisions of United Aircraft who drive their own cars to work are wearing out tires at the amazing rate of nearly three hundred fifty thousand miles a day. This was one of the startling facts revealed in a transportation survey recently completed by the corporation.

Figuring an average life of 20,000 miles per tire, these figures indicate that 17 new tires are being completely worn out every working day by employees of United Aircraft just in driving to and from work in the East Hartford plants. They are particularly significant in view of the recent announcement that in the State of Connecticut the April allocation of retreaded tires is less than nine per cent of last year's sale of new tires. Figured on another basis, this mileage consumes approximately 20,000 gallons of gasoline per day—enough to fly 20 bombers from California to Pearl Harbor every working day.

The survey also revealed that while approximately one half of

(Continued on Page Nineteen)

Jap Students Had to Fight Or Be Shot, Claims E. A. Becker, Globe-Trotter

By DANIEL V. CALANO

"We do not want to fight you but we must, or be shot!"

Such was the message that Ernest A. Becker, divinity student, globe-trotter, teacher in the Orient, was implored to carry to the Chinese from Nipponese college students a year ago.

Mr. Becker, a student at Hartford Theological Seminary and

China. Already the war lords of Nippon have expended vast quantities of life and material in the 'China Incident' and have little to show for it," he emphatically declares.

"Nor can Japan continue her conquests at the present rate, for her internal economy is near the verge of complete bankruptcy," Mr. Becker predicts.

Cities Lack Young Men

around. And there are schoolboys playing—plunging bayonets into dummies with all the strength of their eight years!"

In China Mr. Becker saw hundreds of Japanese in a cremated form. In Nanking ashes of Nipponese warriors filled "little white boxes," standing row upon row awaiting return to ancestral burial grounds in Nippon, when the P&WA employee was in

HSP LEASES TEXTILE MILL IN TAFTVILLE

The Hamilton Standard Propellers division of United Aircraft Corporation, to take care of greatly increased schedules, has leased the one-story brick building at Taftville, Conn., formerly occupied by the J. B. Martin Company, a textile manufacturing concern, Sidney A. Stewart, General Manager, announced today.

The building, which has been vacant three years, will undergo renovations for manufacturing and assembling propellers. Operations are expected to begin in July and the plant, it is hoped, will get into full production by fall.

公司报纸记载妇女曾在这座巨大的战时建筑内发挥作用。

美国战争部鼓励普惠公司考虑在中西部某些地方建立发动机制造厂，使集中在东海岸和西海岸的航空工业多元化。另外，普惠、联合飞机公司的其他分公司、柯尔特枪械、雷明顿军火、温彻斯特和电动

船等公司招收了康涅狄格州和南新英格兰几乎所有可用的劳动人口。最终他们选中靠近密苏里州堪萨斯城的老赛车场作为厂址，在二战最艰难时期的1942年7月4日破土动工。计划是让堪萨斯城工厂专门用于生产已经在产的R2800-B“双黄蜂”。但是随着工厂建设的进展，普惠公司准备推出R2800-C，这种发动机总体性能更好。堪萨斯城工厂就生产这种C型发动机，这是一场大赌博，因为这个型号的发动机还没有完全研制成功，当然也没有投产，一线工人全是新手，过去从来没有进过发动机厂。



格鲁门公司的“恶妇”飞机。

1943年，威廉·克努森参观了这座在建的工厂并说：“如果这座工厂真能生产出发动机，我将大吃一惊。即使真生产出发动机，大概也转不起来。”密苏里州的员工们和普惠管理团队真的让克努森大吃一惊。在克努森参观后6个月内，他们的C型发动机完工，并且成功运转。在随后的18个月中，共生产7931台，总功率达21506167hp。

普惠和几百家其他公司在战争年代最大的收获大概是建立起庞大的工人队伍，他们能为全球战争制造所需要的发动机、飞机、舰船和武器。就普惠公司而言，3000名高技术人员的队伍到1943年扩大到40000人，公司出版物如是描述道，“大批教师、律师、农场主、劳务人员、烟草种植者、推销员、餐饮服务员、审计师、店员和统计员涌

入这座令人晕头转向、共有一个屋顶的城市，钻进组装车间和实验室”。普惠公司新的生产人员中很多是妇女，这是以前从来没有过的事情。普惠公司成功的关键之一是让这些新人掌握“单一操作的专用”机器。在战前的普惠公司，工人们能够安装调试和操纵车间内几乎每台机器。堪萨斯城工厂的工作甚至更吓人。东哈特福德的骨干人员对劳动力进行培训和组织，使工人人数最终达到24000人。在康涅狄格州，普惠公司几乎从新英格兰全境招聘人员。到处能听到缅因最东边的口音，经常带有加拿大法语地区的味道。

多年后，人们仍然记得那些日子所代表的精神。尤尼斯·米尔斯曾是这些妇女中的一员，那时的公司出版物描述她们“决心掌握一种机器，像她们曾经往点心的脆皮上做点缀装饰一样”。“我们有一个共同的目标，我们相互之间产生了团结友爱的感情。”多年后她回忆道：“我们每个人在这里工作，为了让在前方打仗的孩子们早点儿回家。”

在产品与价格上创新

二战期间给普惠公司赢得巨大名声的创新是发动机喷水系统。很多飞行员称赞“双黄蜂”发动机喷水增加功率的技术能使他们脱离险境。1942年，德国的“福克-沃尔夫”190以其速度、火力和超爬升能力使盟军飞行员惊出一身冷汗。美国陆军航空队到处寻找应对办法。普惠公司有一个高招，这多亏1938年完成的一些试验工作，这也再一次证明提前进行研发在最需要的时候就能够发挥作用。普惠公司研究了一个系统，把水或水和酒精的混合液喷入发动机供气中，液体蒸发使空气冷却，从而使气体密度增加。这就使更多的空气进入燃烧循环，燃烧更多的燃油，从而增加功率但温度不会过高。随着陆军航空队要求增加应急功率，普惠公司的工程师们在3个月之内就研发出喷水系统。这种系统在紧急情况下能使R2800增加几百马力，最大速度立即增加40mile/h，于1943年投入使用。当喷水系统成为“海盗”、“雷电”、和“恶妇”等飞机的标准配备后，这些飞机和飞行员终于压制住了德国和日本对手。

> “我的吼叫声盖过了发动机的轰鸣声，有谁愿意跳伞，现在正是时候。”

在战争期间，飞行员们经常参观普惠公司，有时作为参战动员的一部分。他们称赞普惠发动机总能帮助他们脱离险境。当时公司的报纸报道了大卫·伯顿上尉和他的B-24机组的故事。在进入投弹航线时，防空炮火击中了一台发动机，投弹完毕时，另一台发动机停车。伯顿上尉讲述了这个故事。

我们设法使用剩余两台普惠发动机尽可能飞得远些。在后来的几小时里，每当我把油门推到最大功率时，发动机都立即有反应。我在发动机的轰鸣中大声吼叫，如果谁想跳伞，现在正是时候。我得到的一致回答是："不！我们要与飞机和这两台漂亮的普惠发动机同生死！"最终我们飞到机场，我们不能指望复飞，必须尽快着陆，每个人都做好摔机着陆的准备。但B-24用两台普惠发动机顺利下滑着陆，像其他飞机一样。地面人员简直不敢相信我们用两台发动机做到了。发动机温度很高，我们关闭发动机时，一些部件已经熔化。那天晚上，我们举杯畅饮，炫耀这次任务，为普惠公司，为制造那些优秀发动机的先生和女士们干杯！

尽管普惠发动机无论在东哈特福德还是在迪尔伯恩的福特工厂制造出来都是一样的品质，但是飞行机组都是一帮迷信的人。鲍勃·罗塞迪是"海军私掠号"飞机的机上射击员。他回忆，太平洋岛屿上的机组负责人检查发动机包装箱时，总是试图借故要"真正"的普惠发动机，而不要汽车公司制造的发动机。战后，鲍勃在普惠公司任职，后来升任高级副总裁和国际航空发动机公司总裁。



为第**8**航空队轰炸机护航的**P-47**“霹雳”战斗机的冷凝尾迹。

随着战时的工作开足马力，伦奇勒觉得应该把更多的日常工作交给霍纳、米德、霍布斯和其他升入公司高级管理队伍的人。伦奇勒的强项是长期规划，即使在战时的1940年他就已关注未来。这位看重尊严的人最讨厌”发战争财”的标签，这在一战期间曾击倒他所熟悉的一些人。对航空邮政丑闻事件的指控和影射依然刺痛他。他开始关注战后时代，此时他亲眼看着逐渐发展起来的巨大航空工业将面临艰难和痛苦的重新调整。伦奇勒这位精明的企业家意识到，现在限制一定程度的利润，留出战后调整资金是明智的做法，而且可以避免战后丑闻。他还断定，即使材料和工装成本快速上涨，增加产量仍会提高效率，并降低成本。

他建议联合飞机公司主动将利润限制到他称之为“所有人都认同的、正当的、经得起任何检查的”程度。海军副部长詹姆士·弗里斯特尔于1941年买下联合飞机公司的建议书，将其作为1942年“再谈判法案”的基础，该法案包括所有国防工业。1946年，弗里斯特尔写给伦奇勒的信中说：“你和其他一些人认识到该建议的根本正确性和所能提供的保护。如果没有你们的合作，我们可能无法完成再谈判计划。”

总结

战争期间，普惠公司在政府工作上所获利润税后占3%~1.5%。但业务量是惊人的。普惠公司及其获得许可证生产的厂家在战争年代制造了363619台发动机，功率共603814723hp，约占美国空军所需功率的一半。莱特公司约占35%，其余的15%左右分摊给帕卡德、艾利逊、莱克明等公司。普惠发动机为70多个不同型号的军机提供动力，除“海盗”、“恶妇”和“霹雳”外，还有“解放者”、“毁灭者”、“加特利纳”、“文图拉”、“劫掠者”、C-46、C-47和C-54，甚至还包括培养了几千名飞行员的AT-6教练机。



B-24“解放者”是二战期间生产最多的重型轰炸机，服务于美国以及多个盟国。

另一个衡量尺度是发动机功率的增长情况。1938年，功率最大的普惠发动机“对黄蜂”功率约为1200hp。1945年，喷水“双黄蜂”在作战中功率可超过3000hp，在二战结束前6个月，“主黄蜂”发动机达到3500hp的作战额定功率，但该发动机没有参加实战。[3] 伦奇勒的这种发动机错过了时机。研制作战用“主黄蜂”发动机，5年的时间不够，特别是当时“对黄蜂”和“双黄蜂”发动机不断改进，并很好地满足了需要。所以，“主黄蜂”在战后才装上飞机。

公司从3000人发展到40000名男女员工。妇女有史以来第一次进入到普惠制造业工人队伍之中。[4] 从1939年到1944年，他们每周最

少工作48h，没有假期，工厂不停工。工厂和办公室面积扩大到500万平方英尺。政府出资占大部分。但是，战争结束后，如此壮大的工人队伍和生产力将何去何从？

---

[1] 1ft（英尺）＝0.3048米。

[2] 另两座建筑，“北方战争”和“南方战争”是为增加办公室面积而建。它们被称为“临时建筑”，直到20世纪90年代才拆除。“北方战争”尤其是个问题。因为钢材供应短缺，其框架使用巨大的橡树层叠梁而建。所以当拆除锤撞击建筑物时会被橡木弹回。有些房梁必须用小型炸药炸断，对于临时的战时建筑来说太过了。

[3] 普惠发动机及使用这些发动机的飞机全部列表附在本书后面。

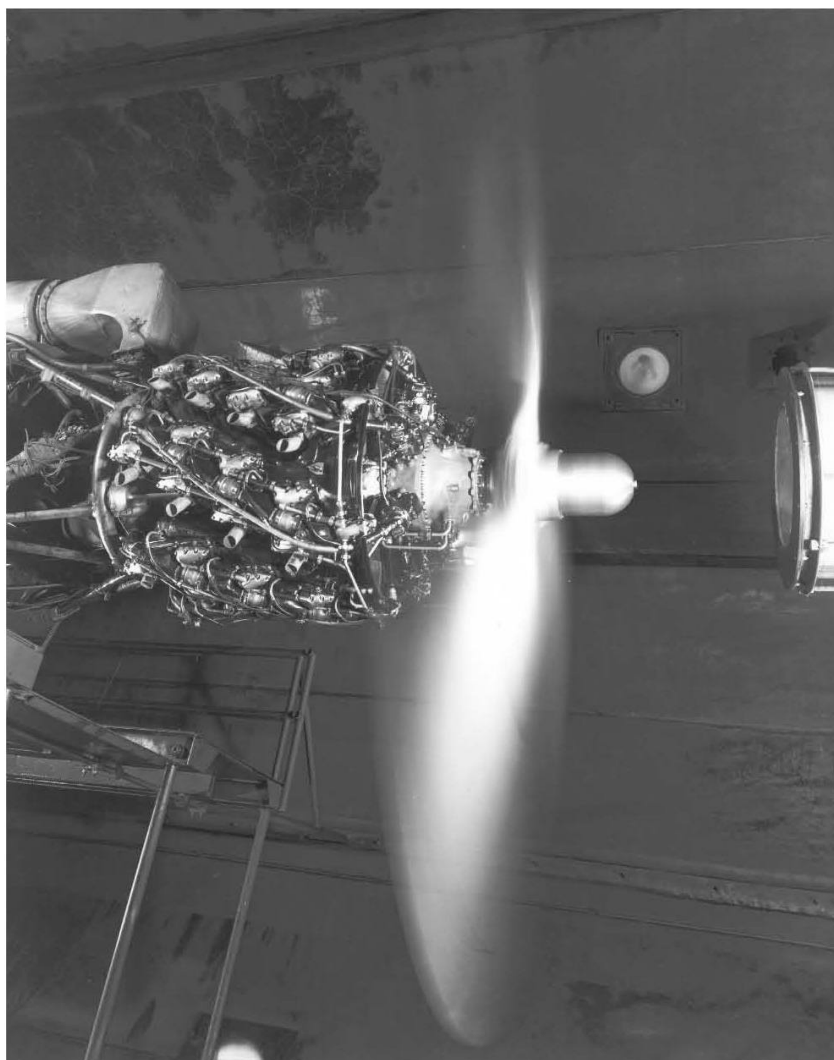
[4] 从语言上来说，这在当今世界上看来有点高傲，但1950年的公司历史描述这是添乱的妇女大军，在此之前这里从来没有女人。”

第4章 我们现在干什么

1945年8月14日，杜鲁门总统宣布日本无条件投降，这一天是对日作战胜利日，称为V-J Day，标志着二战结束。8月15日早上，美国政府取消4.14亿美元的普惠合同。当时订单额只剩300万美元，少得吓人，只有10天的工作量。曾经完成如此辉煌工作的工人队伍被告知回家。员工从1943年的40000人减少到此时的26000人。工厂已经关闭了两星期，名单上只有区区6000人。弗里德里克·伦奇勒、“杰克”·霍纳和比尔·格温对公司情况进行盘点。

空旷的地平线？

这些黑暗的日子后多年，比尔·格温办公室的墙上还有一张漫画。他和“杰克”·霍纳坐在静止的小帆船上。被画成研究航图模样的格温问霍纳：“看到什么了吗，杰克？”霍纳一只手扶在舵柄上朝空旷的地平线张望，并说：“什么也没有。”



强有力的“主黄蜂”发动机。

实际上，地平线上充满相当多令人心悸的问题。普惠公司能否进入航空业未来发展方向的喷气发动机领域？如何与在燃气涡轮技术上抢先一步的通用电气和西屋公司竞争？活塞发动机未来到底还有没有前途？如果有，普惠公司能否使用自己战时生产的发动机（肯定这些发动机充斥战后剩余物资市场）进行竞争？为战争创建的庞大生产设施应该用来干什么？整个航空市场将会怎样？是否会像一战后那样分崩离析？航空公司会依靠战争剩余飞机而不是新销售飞机而兴旺吗？在那些新的郊区公路上最终会出现私人飞机吗？

但是，最大的问题是喷气发动机。二战期间，美国得到英格兰弗兰克·惠特尔爵士突破性发动机的技术信息，并开始了研制工作。那项工作主要给了通用电气公司和西屋公司，还有通用汽车的艾利逊分公司、阿里斯-查尔摩、德-拉瓦尔蒸汽涡轮和克莱斯勒等公司。这是合理的，因为通用电气公司和西屋以及其他公司掌握涡轮技术，普惠和莱特公司基本上没拿到钱，因为他们的活塞发动机要用来打赢二战，活塞发动机上的精力是不能被分散的。

> 整个航空市场将会怎样？是否会像一战后那样分崩离析？

普惠公司仅有的燃气涡轮发动机经验是叫做PT-1的东西。它不是真正的发动机，最多只是一个试验品。它包括一个两冲程柴油发动机，其排气推动一个涡轮，涡轮与螺旋桨轴相连。制造该试验发动机的目的是最终创造耗油量非常低的涡桨发动机，用于长程巡逻机和轰炸机。这一工作1940年开始，得到了海军少量资金。普惠对这一概念的工作时断时续，因此，这就是战争年代在这方面所做的所有工作。

因此，可以这样说，1945年秋天，普惠公司在喷气发动机领域的前景是暗淡的。商界人士给公司5年的时间赶上或超过竞争对手。可是5年以后黄花菜都凉了。工程师们说他们至少需要5年时间把“在研产品”投产。所以，目标定在1950年夏天。但是此前这段时间干什么呢？

突然运气来了，海军需要另外生产西屋公司J30小型轴流式涡轮喷气发动机。普惠公司拿到这个合同，制造了130台小发动机，这是制造喷气发动机而不是活塞发动机的第一次经验。[1]

你有没有他们想要的？

讲到这里可能需要暂告一个段落，转而探讨一下普惠公司面临的新课题：学习一个基本上全新的业务。1952年，“杰克”·霍纳在美国武装部队工业学院讲课，介绍喷气发动机与活塞发动机的不同之处。首先，设计工作量根本不可同日而语。R4360“主黄蜂”发动机前4年的工作量是73万设计工时。而后来称作J57的喷气发动机的前4年工作量

是133.8万设计工时。喷气发动机具有运行优势，因为它朝一个方向转动，即使温度和压力升高，发动机内做功的力通常也处于相对稳定状态。这与活塞发动机承受的冲击可有一比。然而霍纳提醒大家，喷气发动机需要更多的工作，因为涉及太多的热动力和气动力的理论和分析。在某种意义上，制造反而比较容易，霍纳说："燃气涡轮发动机的任何部件绝对不像活塞发动机主杆和曲轴的机加工和表面处理那样复杂。"

另外，活塞发动机大部分用铸件和锻件组装，而新的喷气发动机需要大量的钣金件。霍纳说，喷气发动机之所以成为可能只是因为对耐高温耐高压钣金材料合金的成功研发。普惠公司要想办法解决如何焊接这些钣金材料的问题。霍纳说；"在喷气发动机钣金材料上有众多接点，应力分布是诸多最重要的考虑因素之一。焊接就成为实际的设计因素，因为焊接不仅仅用来紧固装置。"

他提及转产喷气发动机的诸多问题：如直径比较大而壁板非常薄的部件，压气机和涡轮的所有部件和叶片"气动形状各异、尺寸大小别扭，导致设计师们不断抱怨，闹心事没完没了"。

他称喷气发动机的这些"古怪马和奇异猫与活塞发动机的顺眼老锻件和铸件形成鲜明对比，那些老锻件和老铸件重、实、刚，便于机械加工。"此外，所有那些金属板材和形状怪异的部件需要很多工具。为制造J30小发动机，普惠公司需要5250件工具。到霍纳讲课时的1952年，J57共用了20000件工具。

时间从1945年到1946年，从1946年到1947年，最终还是做出了关键的决定。普惠公司将用5年时间拿下喷气发动机，最重要的不是赶上对手，而是超越他们。要实现这一目标，最好的方法是决定直接研发轴流式发动机，因为轴流式涡喷发动机看来比原来的惠特尔离心式设计产生的功率大得多。此外，对战斗机来说，轴流式发动机比惠特尔瘦长得多，具有阻力更小的特点。

根据霍纳的观察，要实现这一目标，将需要大量的燃气涡轮分析和理论。因此他和格温以及鲁克·霍布斯去见伦奇勒和美国联合飞机公司董事会成员，并说出他们需要真正先进的实验室设施，这种设施与任何地方现有的任何设施都不同。1947年，他们获准建设这种设施，即后来的安德鲁·威尔古斯燃气涡轮实验室，配备有试车台，可以模拟10万英尺的高度。[2]

这是航空界非常著名的"拿公司下注"险棋之一。多年后，霍纳回忆道：

这座实验室要耗资1500万美元。今天听起来好像没有多少，但当时却是个惊人的数字。我想，当时公司总固定资产可能约为1000万美元，想想1500万美元加上那些固定资产，相当艰巨的任务，够董事们忙乎了。我对他们力挺那个实验室非常钦佩，如果实验室搞砸了，他们将会遭到非常非常严厉的指责。

多年来，威尔古斯是世界上私人拥有的最大燃气涡轮试验设施。实验室有多大，给你一个概念，高空试车台运转所需动力由海军退役护卫驱逐舰的锅炉和发动机提供。

巨款来自英国

“‘彗星’号将打破美国人对航空公司业务的统治地位。”

燃气涡轮学习向前迈进的另一步是1946年，那时，美国海军决定，罗·罗公司的“尼恩”发动机是其需要的发动机，用于格鲁门公司新的F-9战斗机。但是海军要美国版的“尼恩”发动机。美国对“尼恩”发动机的所有权实际握在莱特公司前总经理菲利普·泰勒手中，但他没有制造能力。普惠公司看到了机会。这是与海军（普惠公司最老的客户）的一笔交易。交易涉及格鲁门公司，而普惠与格鲁门密切合作多年。[3]



J42，第一台普惠喷气发动机，具有罗·罗系列发动机的血统。

普惠早在拥有自己的轴流式发动机多年之前就通过备受欢迎的罗·罗公司离心式设计深入了解了喷气发动机。[4] 普惠获得美国对“尼恩”发动机的所有权，比尔·格温和普惠代表团起身到英国同罗·罗制订细节并拿到说明书和图样。对普惠而言，制造一种自己还知之甚少的发动机是一项令人生畏的任务。美国海军要在1948年11月，即与罗·罗签订合同17个月后从东哈特福德拿到发动机成品。

这种发动机在美国称为J42，还必须使用汽油和煤油工作，因此需要重新设计燃油泵系统。J42的所有部件都必须从美国公司购买，而这些美国供应商大都从来没有制造过燃气涡轮发动机的任何部件。所有英国图纸必须转换成美国技术语言，有些设计要满足美国海军的需要。到1948年3月，第一台普惠“尼恩”/J42装上试验台。那年秋天，J42通过了5000lbf的推力以及5750lbf喷水推力的鉴定试验。

“尼恩”发动机增加功率的工作在加紧进行，这就是后来罗·罗的“泰”发动机和普惠推力为6250lbf的J48“涡轮黄蜂”发动机。

随着1950年最终期限的逼近，在曾是“杰克”·霍纳和比尔·格温1945年所说的空旷地平线上，燃气涡轮发动机领域正在取得进展。但是”黄蜂”家族的活塞发动机怎么样了？

活塞发动机：它们只管继续不停地隆隆转动……



B-50“幸运夫人”II经过**94h**不经停环球飞行后返场着陆。

二战结束后，英国宣布彻底地结束活塞发动机业务，喷气发动机才是未来。那个时候，英国是欧洲或世界上仅有的一个能与美国航空业进行竞争的国家。它因制造了喷气机而称霸。“彗星”号将打破美国人对航空公司业务的统治地位。



J57被安装在**B-52** 轰炸机原型机上。

弗里德里克·伦奇勒用二战的最后几年和战后初期阶段，制订了普惠和美国联合飞机公司将遵循的战略，并对活塞发动机的过时论点毫不买账：

我认为，我们至少在战后第一个5年要继续制造和销售活塞发动

机，安装在远程重型轰炸机上以及满足所有运输机的需要。我还要进一步指出，我认为用于某些机型，特别是运输机的活塞发动机将继续生产到第二个5年的大部分时间。[5]

随着20世纪40年代一天天过去，伦奇勒的观点被证明是正确的。巨大的“对黄蜂”发动机没能参加二战，其在1945年初达到3500hp，成为康威尔B-36的动力装置，此后是波音B-50的动力装置，B-50是冷战初期美国战略轰炸力量的中坚。“对黄蜂”还用于B-35“飞翼”和道格拉斯C-74以及C-124“全球霸王”。R2800“双黄蜂”通过改装增加马力以便推动“海盗”飞机和新的格鲁门“熊猫”飞到40000ft以上。固特异的“海盗”飞机配备了“主黄蜂”后，成为确实令人畏惧的飞机。

从1949年2月26日到3月2日，B-50“幸运夫人”II通过空中加油完成第一次不经停环球飞行。4台“对黄蜂”发动机连续工作94h1min，没有发生任何故障。

在商用发动机方面，大概是这类“可信赖的发动机”证明了伦奇勒的说法是正确的，活塞发动机不会立即消失。普惠发动机被指定作为DC-6、马丁2-0-2、康威尔440和波音“同温层巡航者”等飞机的发动机。莱特公司为洛克希德“星座”和DC-7提供R3350“涡轮复合”发动机的确打败了普惠。该发动机在当时非常先进，有时被称作无法超越的活塞发动机，但它非常复杂。莱特公司确实尝试过某些涡轮发动机的发展，但是后来缺少持续的研发投资。莱特公司握有英国喷气发动机的许可证，但到20世纪50年代末淡出了发动机业务。

但是普惠公司的老理念是持续改进在产发动机，直到“最后一盎司[6]功率和可靠性”被挖掘出来，这一理念确实带来回报。二战后，几百架DC-4飞机从剩余物资仓库出来进入航空公司。DC-4战前是根据R2000“对黄蜂”发动机而设计，并作为运输机投入商业运营。普惠公司到1945年对发动机进行了重大改进，并且在那年秋天，美国航空公司为被修复的DC-4机队飞机订购了252台崭新的“对黄蜂”发动机，那是当时普惠公司历史上最大的商用订单。

C-54飞机也是柏林空运的主力，那是东西方之间的第一次对峙，达到冷战的高峰。空运不仅显示了西方面对苏维埃政权威胁的决心，而且表明空中力量可以用于和平时期。每天大约有250架飞机往返飞行，主要都是C-54。在321天内，共向被封锁的柏林运送了150万吨物资，飞行19.6万架次，两架飞机相隔仅有90s。

普惠公司对产品持续改进的承诺帮助其度过20世纪40年代末剩余飞机和发动机销售的风暴。很多航空公司购买了更新、功率更大、可

靠性更高的普惠发动机，而不是较老的战争剩余型号的同类发动机。但是，那些战争剩余飞机的提供扰乱了市场。较小的航空公司使用老的DC-3或DC-4运营得相当好。可提供的剩余备件不计其数。“杰克”·霍纳后来抱怨道：“剩余物资市场从普惠公司抢走了不少备件业务，那时我们确实也需要这些小买卖来维持生计。”

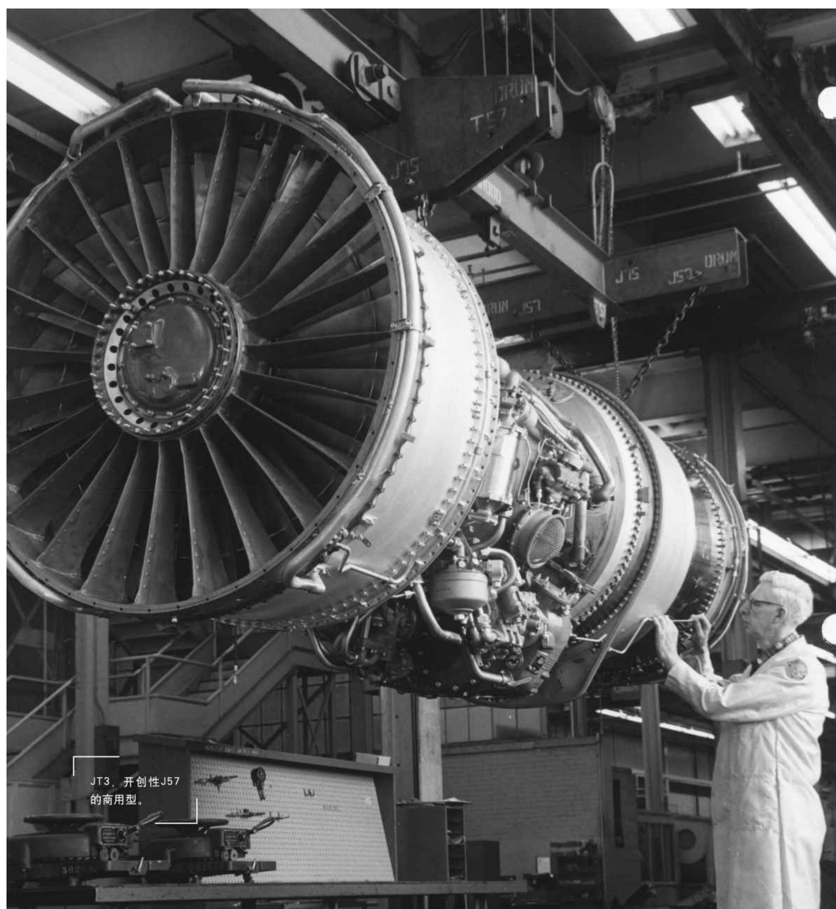
喷气发动机来了！喷气发动机来了！

大问题仍然是喷气发动机。“拿公司下注”这一步棋是否能在新的大功率轴流发动机上得到回报？1950年的人们能否做到1925年的人们用“黄蜂”发动机所做的事情？[7] 通用电气公司以其设计先行一步。当时最杰出的大概是J47，这种轴流式涡喷发动机将装配在F-86战斗机和B-47轰炸机上。罗·罗、布里斯特尔和德哈维兰公司加紧开发技术，他们希望这些技术使英国航空工业具有喷气发动机优势。

要听普惠公司的故事，我们得回头说说1946年。普惠公司学完了西屋公司的J30和罗·罗公司的“尼恩”/J46并在研制自己的专用发动机。今天很少有人知道，T34涡桨发动机是普惠公司设计的首款轴流燃气涡轮发动机，目标是大型军用运输机，能够产生5500～7500hp。T34首飞是1947年，装在B-17试验飞机的机头内，关闭B-17的4台莱特“旋风”发动机，只剩T34运转，拉着“空中堡垒”在空中飞行。1950—1960年，只生产了有限的T34，用于道格拉斯C-133“货运大王”、波音“超级彩虹鱼”和C-121 军用“星座”等飞机。

根据“杰克”·霍纳的讲述，霍华德·休斯举行了盛大的记者会，要将发动机装在TWA的康尼飞机上做商业飞行。霍纳和洛克希德的“一把手”鲍勃·格罗斯反对这个主意，称这款发动机严格地讲是军用发动机，不能在航空公司运营。霍纳曾坚持与TWA的高级技术人员讨论这个主意，以证明这个主意多么不好。“不，你不能。”霍纳回忆休斯说道。“我不能肯定，他明天是否还为我工作。”“好了，对霍华德就这样了。”霍纳松了一口气，仍然记得这个古怪的亿万富翁。T34最终没有装上康尼。

虽然T34在一定程度上获得成功，但是普惠公司没有大力推进大型涡桨发动机。这项业务由艾利逊（现在的罗·罗北美公司）T56主导多年。普惠公司涡桨发动机的领导地位来自边界以北蒙特利尔的一个郊区，这个故事先放下，以后再讲。



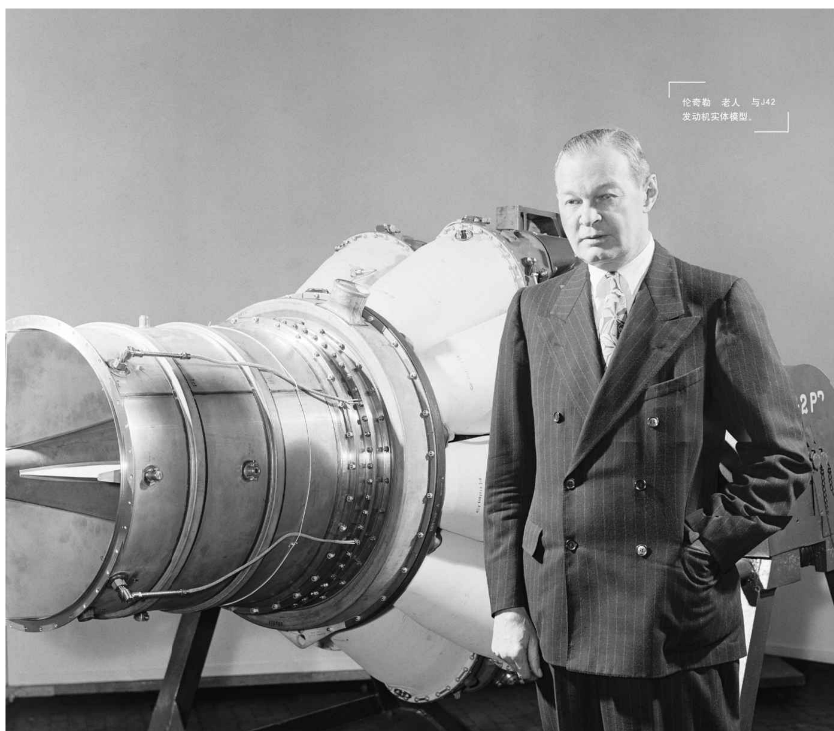
JT3，开创性**J57**的商用型。

普惠公司那时候正在设计另一款大型涡桨发动机，称作PT4/T57。空军正在寻找涡桨飞机来替代B-36，那将是一款大型远程飞机，但是速度较慢。然而，缴获的德国技术资料透露出一种后掠翼设计的能力，事情开始逐渐明朗。个头大、速度慢的轰炸机被取消，涡喷动力后掠翼B-47出现，使用的是通用电气公司发动机。但B-47是中程轰炸机，而空军要的是载弹量更大、航程更远的轰炸机，是安装喷气发动机的后掠翼飞机，速度接近600mile[8]/h，在高空飞行5000mile不用再次加油。火力威猛的雷达控制高炮以及第一代地空导弹的出现，速度和高度至关重要。诸如诺斯罗普的“飞翼”创新性设计看来前途无量，但是仍不能满足任务需要。当然，这一概念是颗种子，最终于20世纪90年代发育成B-2。

1948年，波音公司拿到一项研制合同，后来研制出B-52，而普惠公司则为这种“同温层堡垒”开始研制发动机。普惠公司的想法是把PT4涡桨发动机的核心机改成涡喷发动机。尝试了几种构型，最后在1949年5月工程师们决定从根本上重新设计核心机，以达到他们想要的10000lbf推力，同时显著地降低油耗，使B-52不用空中加油就能飞得更远。工程部门加班加点工作，每天24h，每周7天，几十年来很多航空工业公司的很多工程部门都是这样走过来的。经过整整220个日日夜夜，重新设计的JT3-A被装上试车台。

发动机性能的关键是双转子设计：低压和高压压气机分别由低压和高压涡轮驱动。双转子设计比单转子设计能使发动机产生更高的压力，从而极大地增加了功率和提高了效率。发动机围绕一套里外套装在一起的两个轴组装，一个轴连接低压涡轮驱动发动机前面的低压压气机，另一个轴连接高压涡轮驱动低压压气机组件后面的高压压气机。另一个创新是发动机的蜂腰体设计。变细段还有助于提高压缩效率，并减少600lb的重量。

大部分喷气发动机推力为4000～5000lbf时，普惠公司决定抛开旧的，重新开始，“杰克”·霍纳解释这一决定背后的想法：


伦奇勒 老人 与J42
发动机实体模型。

伦奇勒“老人”与J42发动机实体模型。

研制一种推力为6000lbf左右的发动机，比我们那样把推力大幅度提高10000lbf要容易得多。研制一种直接的简单单转子喷气发动机比研制更复杂的双转子高压压气喷气发动机也要简单得多。但是我们的对手在二战期间就确立了喷气发动机的地位，因此我们最终决定，我们最好来个飞跃，超过我们的竞争对手，无论在功率方面，还是在节油方面都要超过对手，这就意味着增加压缩。

他还回忆普惠工程师们学习如何解决喷气发动机的新型轴承问题、封严问题和压气机匹配问题，等等，“都是人们在新的喷气发动机上遇到的常见问题”。

他还说：“回想起来，那些问题绝对不是你通常预计要碰到的问题。记住，是回想起来。每次问题出现在你面前时，都会吓死你。”

JT3A 军用型是J57，的确是创造世界纪录的发动机。8台发动机推动B-52，安装J57的F-100“超级佩刀”1953年5月成为平飞时达到超声速的第一款战斗机。普惠团队因J57的杰出工作而获得1952年航空界“科利尔奖”，并且二战结束时，实现了在变幻莫测年代确定的目标。

该发动机在某种意义上可以被看成另一种“黄蜂”，像“纯种猎犬”，运转起来“干净利索”，可以应用于很多机型。J57/JT3后来放大成J75/JT4。这两种发动机用于20世纪50年代除洛克希德F-104以外的所有世纪系列战斗机。除B-52外，JT3还为KC-135喷气加油机甚至U-2高空侦察机提供动力。在商用方面，JT3在波音707和DC-8上开创了喷气机旅行的时代。那些飞机后来还使用JT4执行其他任务。比尔·冈斯顿在他的《航空发动机世界百科全书》中写到，JT3可谓“自1945年以来世界上最重要的发动机”。

20世纪50年代，JT3又一次改进，在发动机前面加装了风扇，这明显地增加了进气流量，就是众所周知的涡扇发动机。JT3D的军用型是TF33。推力增加35%，最大达到21000lbf。油耗降低15%～22%，起飞噪声下降10dB。J57/J75系列的基本设计概念即使在今天仍然显示出其合理性。B-52换发安装TF33后仍在服役，世界各地仍有波音707和DC-8在进行辅助货运服务。

普惠公司成为喷气发动机领域有影响的玩家，但其竞争对手绝对无意打出白旗。通用电气公司的J47在F-86上取得成功，并在此基础上，大张旗鼓地回来搞J79，一款出众的轴流涡喷发动机，装有17级

压气机。J79用于麦克唐纳F-4“鬼怪”战斗机、北美A-5“民团团员”、洛克希德F-104“星式战斗机”和世界上第一款超声速战略轰炸机B-58“盗贼”。J79开创了压气机可调静子叶片的概念。发动机的进气导向静子叶片引导空气进入发动机，随着不断变化的飞行包线，前6排静子叶片（非旋转的压气机叶片）可以调节，以保持正确的气流角度。J79是成功的发动机，生产了很长时间，是20世纪50年代和20世纪60年代为通用电气公司赢得声誉的发动机，是通用电气公司未来几十年获得成功的基石。

“普惠公司成为喷气发动机领域有影响的玩家，但其竞争对手绝对无意打出白旗。”

通用电气公司试图用J79的技术来组装并制造商用发动机，即CJ805涡扇发动机，其风扇装在发动机后面而不是前面。通用电气公司建议为KC-135原型机推荐CJ805，而KC-135加油机重量不断增加，看来要达到JT3能够承载的极限。普惠公司起初的应对是为JT3加装喷水/酒精系统，接着推荐JT3D涡扇发动机，挫败了通用电气公司的努力。另外，在此期间研制J75/JT4部分原因是对通用电气公司J79的成功做出的反应。CJ805落脚在康威尔880和康威尔990飞机上，但其性能不佳，康威尔飞机销路也不好。

JT3D是普惠公司第一款涡扇发动机，该发动机不仅是对通用电气公司也是对罗·罗公司康维发动机挑战的应对型号。康维是投入航空公司运营的首款涡扇发动机。其原理简单地说就是：涡喷发动机使特定量的空气非常快地加速，而涡扇发动机使更大量的空气流速更慢些，发动机前面的风扇级产生大量的气流，部分空气没有被加速流入核心机进行燃烧，而是在核心机外“旁通”；气流越大，推力越大，但是因为大量空气流动比较慢，发动机就消耗比较少的燃油，产生比较小的噪声。在喷气机时代，涵道比不断提高。进入21世纪，发动机旁通的空气比在核心机内燃烧的空气多六七倍，由于对环境关注的日益增加，涵道比甚至会更高。

回顾英国的情况，20世纪40年代末和20世纪50年代初，他们将所有的工程师投入喷气飞机技术。最著名的例子当然是德哈维兰“彗

星”，装有4台德哈维兰“幽灵”发动机。由于对增压座舱飞机在高速和高空条件下金属疲劳的问题知之甚少，导致3架早期型号的“彗星”坠毁。这种飞机注定成为商业冒险项目。20世纪50年代“彗星”再次出现，是“彗星”4，与原“彗星”大不相同。“彗星”4使用罗·罗公司埃文发动机，但是一直没有追上波音公司和道格拉斯公司。埃文发动机还是法国南方航空公司“快帆”中程客机的发起发动机。罗·罗公司在延程型DC-8和维克斯-阿姆斯特朗VC10飞机上使用康维发动机，并取得了一些成功，尽管VC10只生产了54架。

应该指出的是，布里斯托尔发动机公司在那个时期进行着激动人心的工作。该公司经过英国发动机工业多次兼并重组后成为罗·罗公司的一部分。大约在普惠公司研制双转子J57/JT3之时，布里斯托尔公司在进行双转子奥林帕斯发动机的工作。该发动机1948年首次运转，1954年投产，仅仅稍稍落后J57/JT3。经过不断改进，成为超声速“协和”号客机的发动机。设计推力为38000lbf，开始只有11000lbf。

创业者逝去

20世纪50年代中叶，弗里德里克·伦奇勒在二战结束时制订的计划看来已经一一落实。用了5年时间普惠公司研制出震惊世界的喷气发动机。其活塞发动机在市场上长盛不衰，从活塞发动机到喷气发动机的转变看来能确保实现。几乎所有顶尖战斗机都使用普惠发动机，公司从二战胜利日大约35000人发展起来。弗里德里克·伦奇勒曾经喜欢与唐·巴奇、比尔·蒂尔登、瓦尔·雅沃尔斯基等人一起打网球，但是他的健康每况愈下。他的助手们发现，自1953年夫人菲伊去世后，他显得易于疲劳，体重减轻，变得苍老。1955年2月，他被告知得了癌症。他与家人在佛罗里达州博卡拉顿家中度过最后几个月，1956年4月25日与世长辞。[9]

《时代杂志》封面故事给弗里德里克·伦奇勒的绰号是“马力先生”（Mr.Horsepower）。他同普惠公司其他创始人一样离开了我们。他们曾以简单的原则创建了伟大的公司，这些原则一次又一次地得到验证，并将流芳百世。

---

[1] 喷气发动机基本有两种，离心式设计和轴流式设计。在离心式系统中，压气机是装有一系列叶片的盘，用来收集进气并将进气引导至压气机中心。离心力以高速和高压将空气推入发动机燃烧室。在轴流式发动机内，空气直接流过压气机，随着空气流过逐级，压力越来越高。

[2] 实验室1950年取用此名，以纪念1949年去世的安迪·威尔古斯，安迪在铲除上班道路上的积雪时去世。

[3] 格鲁门公司的所有“猫”系列飞机——“野猫”、“地狱猫”、“熊猫”、“虎猫”和“雄猫”都使用普惠发动机。

[4] 普惠公司对罗·罗公司作为竞争对手与合作伙伴都一直怀有应有的尊敬，这种关系始于“尼恩”发动机许可证生产，一直到今天国际航空发动机公司的V2500计划。

[5] 霍纳说，他认为伦奇勒是个天才，霍纳在晚年回忆伦奇勒的管理风格时说：“他非常善于思考，大部分时间远离经营，努力思考事情未来向何处发展，而且他非常非常成功地做出那些判断。他的判断不受欢迎，因此总是他一个人在这里，另外100个人在那里。但是他几乎总是正确的。总是处于少数地位不仅需要智慧，而且需要勇气。他是一个杰出的人，一位伟大的领导，非常平静、非常腼腆的人。”

[6] 1oz（盎司）＝28.3495克。

[7] 遗憾的是，到1950年弗里德里克·伦奇勒是原班人马中唯一仍在普惠公司工作的人。唐·布朗1940年去世。工程天才乔治·米德1949年撒手人寰。只在几周后，安迪·威尔古斯，这个“用指尖思考”的设计师离开人世。查理·马克斯，提醒工人们“要比拿鸡蛋还要小心地处置部件”，1943年过世。格拉夫，老杰克·博鲁普战后退休。这时伦奇勒沮丧地承认“老人”这个称呼适合他。

[8] 1mile＝1609.344m。

[9] 伦奇勒在康涅狄格州西哈特福德的庄园今天是伦布鲁克学校校园。一台“黄蜂”发动机放置在学校门廊之内。

第5章 向前……直入云霄

尽管普惠取得了J57/JT3和J75/JT4的成功，但是随着20世纪50年代末的临近，普惠公司又面临两难困境。普惠公司的未来在哪里？主要问题可被称为太空竞赛、导弹差距，“（苏联）人造地球卫星（Sputnik）恐惧症”或按钮战争时代来临，等等。普惠公司为载人飞行器制造发动机，那么以后是否还需要这种发动机，或者生产这种发动机是否足够使公司得以维持下去？回首往事，这些担心看来有点可笑，但那时却是千真万确。



位于佛罗里达州的新研发中心所在地。

莱特·帕金斯曾领导公司的许多关键研制项目，他在1959年6月对公司高管们的讲话中总结了这些大家关注的问题。他说，公司应该从工程师为主和生产主导型企业转变为科学家为主和研究主导型企业。帕金斯承认，正如一些行业分析人员看到的那样，联合飞机公司可能“太专注于生产，却没有从自身利益考虑，不够专注于科研。”

他通过观察普惠公司30年在活塞发动机领域的发展总结了他的担心。普惠公司从事涡轮发动机业务只有13年，“除非军事发展趋势出现变化，普惠公司的末日即将到来。”

帕金斯从骨子里就是一位工程师，他对航空业转向由“一小撮排他技术知识阶层”领导的航天业感到非常不自在。但是他和其他的普惠领导层没有准备好承认失败：

任何组织或个人，若能像我们所做的那样，让复杂的装置，比如涡轮发动机，正常运行，且性能良好，就能制造今天还只是口头上谈论的火箭发动机之类的东西……上帝造就我们成为工程师，我们就能够理性地让科学家梦想中的任何东西运转起来。

因此，像二战后一样，普惠公司开始再创造。创造之路将普惠公司从它的发源地——康涅狄格州，从地理上和技术上都带向遥远的地方。虽然有些创新并未取得巨大的成功，但有些则做到了。

首先，有一个问题就是莱特·帕金斯不太喜欢的那些科学家。为了进入航天业务，公司需要他们，普惠公司也无话可说，那这个问题就解决了。实际上，大约从1958年开始和之后的5年里，为了进入航天领域，联合飞机公司和普惠公司耗资约1.6亿美元。

何为化学系统部？

1958年10月，一个新公司在加利福尼亚州门洛帕克建立，称为联合研究公司。该公司只有一名员工，是退休的空军将军唐纳德·帕特。他的任务是使普惠公司进入固体火箭发动机领域。几年中，公司几度更名，先是联合技术公司，最后叫化学系统部。



在佛罗里达研发中心（**FRDC**）建立的第一座建筑。

早在1958年，化学系统部从开始起步就要对抗早已建立起火箭推进系统的公司，诸如空气喷气、迪奥科尔、洛克达因和大力神公司等。唐纳德·帕特必须赶快行动。第一步就是招聘关键人员——一些重量级科学家和工程师。巴尼·阿德尔曼、赫布·劳伦斯和戴夫·奥尔特曼曾研究过分段式固体火箭，但需要资金继续进行研究。靠帕特将军的声誉和普惠公司的资金支持，他们签订了合同，并让更多的专家加入这项研究，提高了新公司的信誉。

原来设想新公司主要作为一个研究机构，但新组建的团队坚信他们应该走得更远，特别是在推进剂领域。

在1983年一次关于公司档案的访谈中，奥尔特曼解释说："固体火箭的主控技术因素是推进剂，不是硬部件的机械工程。……因此需要在推进剂上具有单一的、协调的和完全独立的能力。"

到1959年末，原先只有一个人的公司发展到150人，不久在靠近圣何塞叫凯奥特峡谷的一块3100acre的地方进行研制和试验固体火箭发动机。

> 有些创新并没有取得巨大成功，但有些则做到了。

固体火箭发动机推进剂基本就像橡胶块一样，含燃料和氧化剂。它们不需要外部氧气就能燃烧。燃料和氧化剂被混合成橡胶块后，浇注到火箭壳体内，黏结在壳体壁上。当燃烧时，推进剂必须能够承受巨大压力，并且应该以非常精确的方式燃烧。此外，客户还必须能够储存导弹用的固体发动机长达10年以上。

另一个问题是体积。大型火箭需要大量推进剂，火箭重量可达50万磅，其中90%是推进剂的重量。那么大的运载火箭和推进剂做成一个整体将非常难以运输和处理。化学系统部的团队提出分段做法，即制造单个动力单元，再到发射台组装在一起。根据功率要求，可以改变分段数量。

1958年开始的努力工作和大量投资在1962年得到回报，签订了为“大力神”III家族制造固体火箭助推器的合同。“大力神”III-C第一次发射是1965年6月18日，从此开始了65次完美的系列发射，一直持续到1982年“大力神”计划结束。推进剂是合成橡胶添加铝作为燃料以及高氯酸铵作为氧化剂的混合物。

回头看看，对“大力神”项目的成功存在争议，忧喜参半。在化学系统部的早期“大力神”项目非常重要，因此公司在寻找开展其他工作上显得不够积极。当“大力神”项目结束后，化学系统部就成了一个失去了产品的“单一产品”公司。

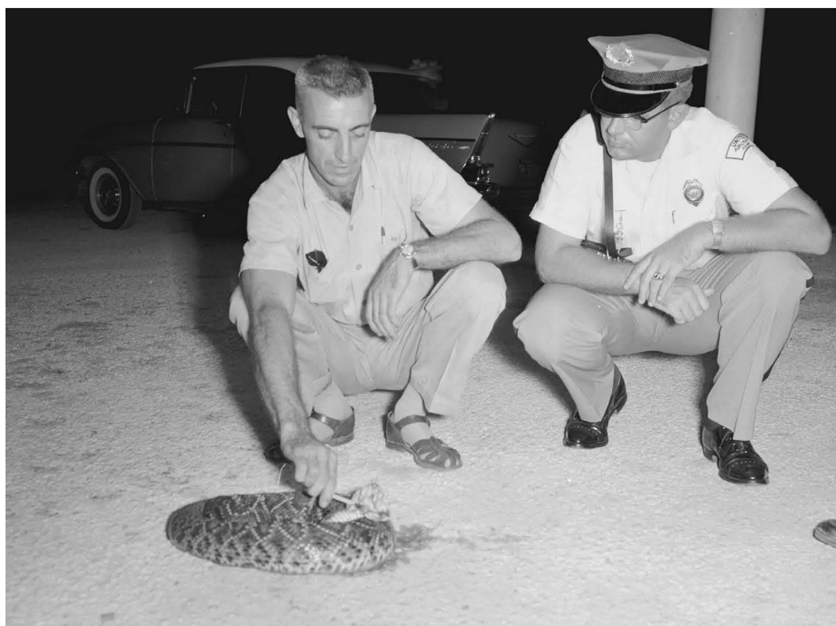
公司确实在前进，开始参与“侦察兵”、惯性上面级和“三叉戟”、“民兵”和“战斧”等计划，还通过一个叫联合航天助推器公司（USBI）[1]的机构参与了修复航天飞机固体火箭助推器的工作。

虽然化学系统部具有创新性而且精通技术，但还是没有达到团队起初的期望。分析家指出，因为它从来不具备整套系统集成商的能力，所以不会如原本所希望的那样有长足的发展。随着“冷战”的结束，以及本世纪初所追求的项目数量减少和陈旧过时设施所反映出的环境、安全和客户的担心，公司在一段时间逐步停止、并关闭了化学系统部。

但是火箭业务仍然是普惠公司发展的组成部分。

“短吻鳄”、“响尾蛇”与“黑鸟”

随着20世纪50年代取得的进展，普惠公司在康涅狄格州的总部也遇到了问题。工厂和办公室拥挤不堪，还得从外面租赁很大空间。东哈特福德人亲切（或不亲切！）地称普惠所在地为“克朗代克”（加拿大西北部克朗代克地区19世纪末20世纪初发现金矿，出现“克朗代克淘金热”）地区，那里的室外试验噪声引起人们的抱怨。此外，不仅普惠公司而且康涅狄格州和新英格兰南部的其他军工企业，想要在这一地区招聘到所需的合格人员变得越来越难。



一个邻居来访。

然而，最大的担心是安全问题。普惠公司承担一些绝密项目，可邻居的院子紧挨着东哈特福德厂区而建，因此要想保密十分困难。这些绝密项目中的一个项目就是J58，这是一种涡轮喷气发动机，原来计划用于海军速度高达Ma3的截击机上。另一个绝密项目是极其新型的氢燃料发动机，代号304，计划用于高空高速侦察机，这种飞机当时正在洛克希德公司的臭鼬工厂由凯利·约翰逊及其团队研制，飞机项

目叫“晒黑”。还有一个项目，命名为“酢浆草”，它涉及把J57发动机改用液氢作为燃料。对这些项目，不仅安全保密是个问题，而且在人口密集的市区处理氢燃料致使项目经理们愁白了头。

老工程师迪克·马尔雷迪回忆当初分配给他的任务是加快公司的氢燃料研制工作。而他手中的资料是普惠公司仅有的关于氢气的两本书。一本书的封面上是兴登堡飞艇爆炸的照片，另一本详细介绍液氢实验室的一次致命事故。

> “普惠公司要做的工作就是在艾佛格雷兹中心施工建设，配备人员。”

1956年初，公司开始寻找能解决所有这些问题的地方。佛罗里达州看起来不错：气候好，适合户外试验，空地很多，而且对员工需求的压力不太大。当普惠公司在一本工程杂志上漫无目的地做招聘广告时，结果就显示出来了。对航空工作感兴趣的30个新英格兰的应聘者来说，每个人都说他们喜欢在佛罗里达州工作。佛罗里达州也热情欢迎高技术航空航天业公司的进驻。经过不太复杂的程序，普惠公司挑选了棕榈滩县一个7000acre的地块。这里是佛罗里达州大沼泽地边上野生动物保护区的一部分。但实际上普惠公司购买了附近的另外一块9000acre地块，送给该州作为交换，得到自己想要的那7000acre土地。这样，佛罗里达研发中心得以建成。普惠公司要做的工作就是在大沼泽地中心施工建设，配备人员。

一小部分来自东哈特福德的员工在查克·罗尔克带领下接受艰巨任务，他们是真正的创业先驱。莱特·帕金斯严禁将大批有资历的人员从哈特福德转移到佛罗里达州。在康涅狄格州他需要手下的每个人。关于佛罗里达沼泽地还有一段小故事。奈德·本恩是新公司第一任公关经理，他用自己的文字能力对当地进行了一番描述：那里像“一幅华丽的‘佩斯利花纹’图画，遍布松树、矮棕榈树、棕榈树、池塘和野生动物踏平的小路，不时有梅花鹿、野猪、鳄鱼、火鸡和鹌鹑出没。”

罗尔克和他的小团队无所畏惧，至少他们相互这么说。事实是，他们1956年秋天乘飞机抵达西棕榈滩时，迎接他们的是机场上空漂亮的彩虹。他们都说这是一个好兆头，彩虹成为佛罗里达研发中心初期

的标志。

如今从佛罗里达研发中心旁边通过的“蜜蜂”（Bee）线公路当时还不存在，修路是首要任务。公路通过的地方是一个沼泽，名字有点吓人，修筑穿过沼泽的公路需要填满大量的石块，据说在施工中有一两台推土机陷入泥潭被吞没。

因为地下水位仅在地面以下2～3ft,工厂和试验台的实际场地需要大量排水，再回填土石方。回填料的“取料坑”马上又涨满水，鳄鱼和其他动物在那里安家。通向试验台的5mile砂石路在最初的日子经常无法通行，这迫使工程师们在盖着油毡的半完工建筑内过夜。一个故事里说，试验人员早上来上班，发现一条响尾蛇盘在油毡下一个废物篓里过夜。之后的几年里，公司里流传着早期那里生活的故事，人们看到鳄鱼在刚修好的停车场晒太阳，食堂门厅上贴着“不要喂鳄鱼”的标语。还好，一切进展顺利，佛罗里达研发中心于1959年5月27日正式启用。

从19岁就是“普惠耗子”的联合飞机公司总裁比尔·格温，在佛罗里达研发中心启用典礼上讲话，宣布公司的信条：

在航空界，今天的成功来自你们5年、10年或15年前做出的决定。我们在4年前就开始规划这些设施了。我们知道，这些设施耗资巨大，动辄需要几百万美元。但是我们要在航空发动机行业生存，多年的经验教导我们，无论眼下多么美好，如果你想在这个行业生存，你最好提前规划两代或三代你的发动机。

甚至在研发中心正式启用前，研发工作就已开展。304冲压氢气[2] 发动机1957年秋天作为“晒黑”项目的组成部分第一次运行。空军对洛克希德命名为CL-400飞机的兴趣开始消退。因为其航程不够远，而且氢燃料会带来安全问题，“晒黑”项目到1958年年底彻底退出。但是空军另一部门对这种发动机的技术非常有兴趣。人们试图找出如何用这种发动机把卫星送入太空。液氢是绝佳燃料。因此304计划与一个新计划合并，这就是后来的RL10。RL10计划作为康威尔“半人马座”的动力装置，“半人马座”是“宇宙神”助推器的第二级运载火箭。

“这些人试图想办法如何用这种发动机把卫星送入太空。”

即使利用304计划的早期成果，RL10的研制仍然是一个挑战。与20世纪50年代末和60年代早期很多火箭计划一样，这项计划也有惊险的时刻，包括试验台被炸得粉碎的爆炸意外。到1961年末，RL10团队才找到问题在于点火系统。1962年1月，发动机通过初步试飞。1963年11月实现首飞，发射了“半人马座”。1964年初，“土星”S-IV级的6台RL10将37000lbf的载荷送入轨道。从那时起，RL10成功发射几百次，今天仍在使用。

佛罗里达的工作继续进行，研发重点是高压液体燃料发动机。试验型RL20就来自这些研发工作，然后普惠公司推出航天飞机主发动机（SSME）。普惠团队在这项技术上进行了10年的工作，信心十足，但是令他们沮丧的是，1971年6月28日，洛克达因公司赢得该项目。所以基本上普惠公司只剩下RL10是可用的液体燃料发动机。尽管未来一切将发生改变，但当时这个决定让一些佛罗里达人很辛酸，但他们并没有放弃，经过一段时间，他们在某种程度上被证明是正确的。美国国家航空航天局（NASA）最终用普惠公司产品替代了航天飞机主发动机的涡轮泵，这是发动机的心脏，该涡轮泵今天仍在飞行。

你好,“黑鸟”！



304“晒黑”发动机。

佛罗里达研发中心早期的另一个主要项目是J58，原来计划用于海军的Ma3截击机。到1958年海军逐渐失去对该发动机的兴趣，并放弃了截击机计划。J58没有其他应用，看来J58在普惠公司的历史上可能成为一个“脚注”。但是凯利·约翰逊及其臭鼬工厂再次相助。尽管推荐的洛克希德氢燃料侦察机胎死腹中，但是中央情报局（CIA）和空军对一种新飞机非常感兴趣，要用它来代替容易受到攻击的使用普惠发动机的U-2飞机。盖瑞·鲍威尔的U-2被苏联“萨姆”导弹击落证明了这一担心。1960年初中央情报局订购了当时叫A-12的飞机，那就是后来传奇性的SR-71“黑鸟”。[3]

但是J58遇到麻烦。这种发动机不像普惠或其他任何公司过去制造的发动机那样，除工程挑战之外，还有人员问题。事实证明，当初决定为佛罗里达配备几乎全部是新招聘的员工就是个错误。佛罗里达团队尽管技术精湛，但是没有管理复杂项目的经验。在康涅狄格州，很多事情能够做好，因为人们通过潜移默化的“普惠行事方法”找到解决问题的途径。这一点在佛罗里达基本没有形成，人们还没有机会建立自己的知识库。因此1962年底和1963年相当多的人从东哈特福德南下，两班人马经过艰难的磨合期，最终问题得以解决，项目走上正规。

J58出现了一系列特殊的问题，即使今天，也是普惠公司所制造的在技术上最具挑战性的发动机。在Ma3的速度下，压气机温度达到800℉ [4] ，涡轮进气温度为2000℉，燃油700℉，滑油1000℉。因此，必需研制能够经得起如此高温度的特种燃油和滑油。但是最大的问题是材料。



RL10，老黄牛式的上面级发动机。

项目经理比尔·布朗后来回忆："我不知道任何一个部分，小到发

动机的肩销键，能否使用之前发动机的材料来制造。”必须改变涡轮盘使用合金的化学成分以提高其耐热性和强度。必须研发锻造和热处理盘件的新方法。工程师们用新的合金制造涡轮叶片，并完善了发动机机匣使用的大型超级合金板材的轧制方法。

这些工作以及为RL10和其他项目所做的相似工作在材料科学方面给了普惠公司巨大优势。佛罗里达研发中心材料组和康涅狄格州的材料组在超级合金、粉末冶金、涂层和非常先进的锻造技术方面世界领先。如今，这些知识宝库已经并将继续帮助普惠公司成为材料科学方面的翘楚。

另一个重要问题是发动机循环本身。J58开始时作为纯涡轮喷气发动机，但是这种设计用于“黑鸟”飞机不可行。功率不够，耗油太多。飞机要连续以Ma3.5的速度在100000ft高度长时间飞行。在这些条件下，会出现严重的气流问题。压气机的后面几级无法处理大量空气，使压气机前面几级和加力燃烧室效率降低。因此J58的原设计作废，并以双循环法代替。在速度低于Ma3时，发动机作为涡喷发动机工作，发动机进气全部流过核心机。在速度达到和超过Ma3时，“外涵放气循环”开始工作。压气机部分空气被输送到后面几级，然后重新引入涡轮排气进行复燃加力。在非常高的速度和高度情况下，这种方法使发动机推力提高22%，而油耗没有明显增加。

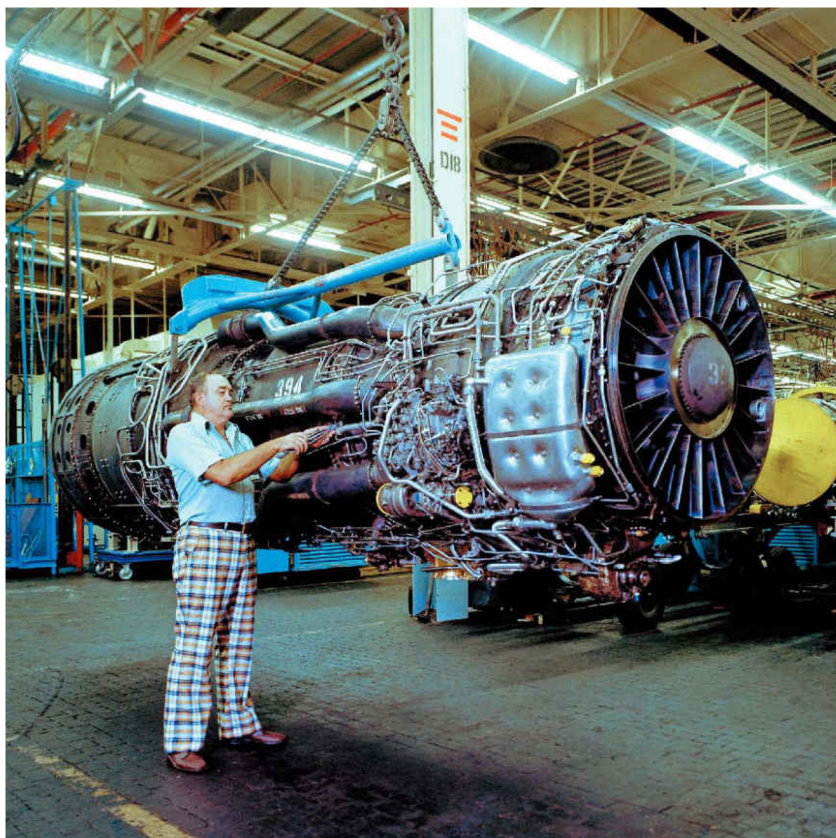
1962年末，J58开始用于A-12原型机。空军也订购了截击机样机YF-12A，但从未投产。SR-71定型，1966年开始服役。该机创造了速度和高度的各项纪录，包括其最后一次飞行。“黑鸟”从加利福尼亚州飞到首都华盛顿只需68min17s，赢得史密斯国家航空航天博物馆的最高荣誉。

超声速运输机

带来的失望

佛罗里达研发中心的下一个大项目是拟议中的超声速运输机（SST）发动机。超声速运输机可能是当时争议最大、费用最高的计划，激发所有人的想象力。航空界的人们把它看作迈向未来的一大步。日益壮大的环保运动则憎恨它的诞生。管财务的人们看到账单大概会晕过去。这里还牵涉到民族自豪感。法国和英国正在制造“协

和”号客机，天啊！美国不能落在别人的超声速尾流之中。



J58，与众不同的发动机。

1964年，普惠和通用电气公司获得为超声速运输机研制发动机的合同，而波音和洛克希德公司得到机体生产的合同。佛罗里达研发中心团队最有资格承担并且高兴地接受了这一任务。不久宣称“54K志在必得”的标语口号遍地都是，其中54k所指是完成54000lbf的推力要求。到1966年3月，基于J58和TF30战斗机发动机的技术，第一台JTF17发动机完工并运行。最终试验结果于12月成册并上报有关部门，前景乐观。每个人都回家享受圣诞节假期。当节后回来上班时，人们都极其失望。通用电气公司获胜。又一次，公司内外对普惠的未来产生质疑。SST的失利加上空军决定由通用电气公司承担新的C-5运输机发动机的任务。通用电气公司拿到用于超声速工作和大外涵发动机的资金。他们可以控制未来若干年的商用航空。可怜的普惠！而结果是，SST从未问世，C-5也没有如预期投产。像用于”银河”运输机的

通用电气发动机一样，波音747飞机和配套的JT9D发动机要面世了。

在美丽的康涅狄格河畔

今天，在美国制造的所有普惠发动机都在普惠公司的康涅狄格州米德尔顿工厂组装和测试，厂址占地1000acre，位于康涅狄格河畔。但是，在20世纪50年代，工厂建在普惠历史上最独特项目的所在地，该项目称作康涅狄格自动化核子发动机实验室（CANEL）。

该实验室的由来可以追溯到1948年，当时国会航空政策委员会说“核能发动机飞机（NEPA）应该放在核能研究的最优先地位”。这正是核能被看作未来潮流的时代。艾森豪威尔总统启动了“和平原子能”计划。核能发电将会很廉价，甚至你用电都不必计表。

核能发动机飞机概念背后的含义在冷战时期显得更加邪恶。轰炸机可以在航站几天都不用加油，能够瞬时进行反击。到1951年为止，一个普惠工程师小组一直在一家之前的百货商店的郊区分店进行这一概念方面的工作。1955年，在空军和原子能委员会的支持下，康涅狄格自动化核子发动机实验室开工建设。这是政府的设施，由普惠公司承包运营。最终约有2500名普惠人员在那里工作。

通用电气公司负责研制直接循环发动机，即来自压气机的空气直接流过反应堆，加热后，流入涡轮。实际上，反应堆成为发动机的燃烧室。

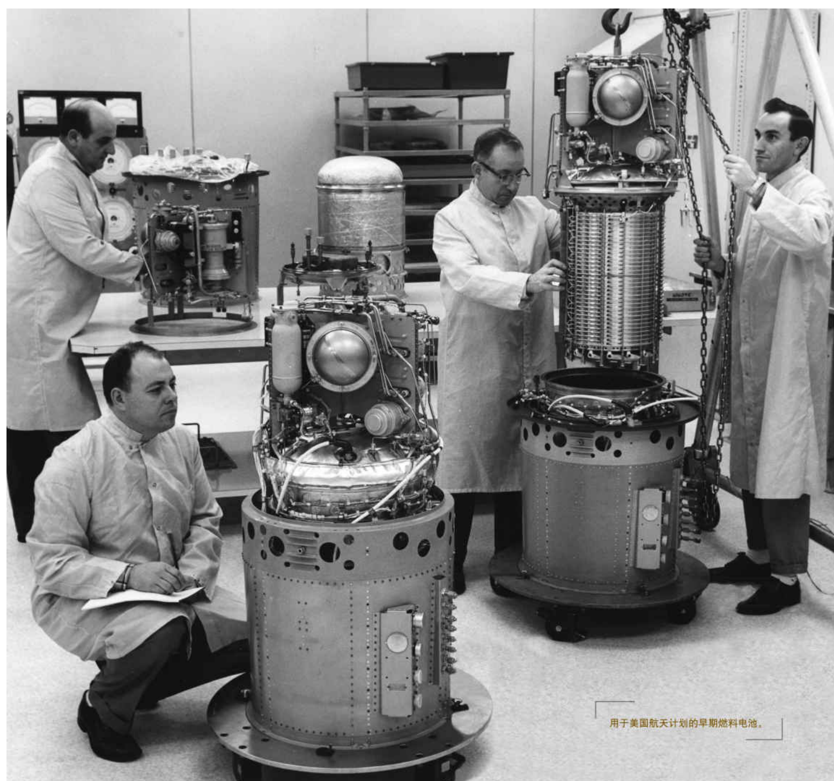
普惠公司所开展的研究概念上称为间接循环。在间接循环中，空气从来不直接与反应堆接触。反应堆加热液态金属，液态金属流过一种散热器，把热量传给空气。

普惠公司这个项目中的发动机命名为J91。制造了实体模型硬部件，用各种材料进行了很多试验，但是没有制造完整的发动机/反应堆，也没有制造出一架飞机。关于材料，有很多问题，当然，核安全也是一个担心。但核能飞机计划1961年被取消的真正原因可能是洲际弹道导弹、潜射导弹和B-52轰炸机三位一体核威慑力量的问世，它的出现确定了核能战略政策，直到冷战结束。

普惠公司最终买下康涅狄格自动化核子发动机实验室，在以后的时间里，所有原建筑都被拆除，建造了新的制造、组装、测试以及办公室等设施。

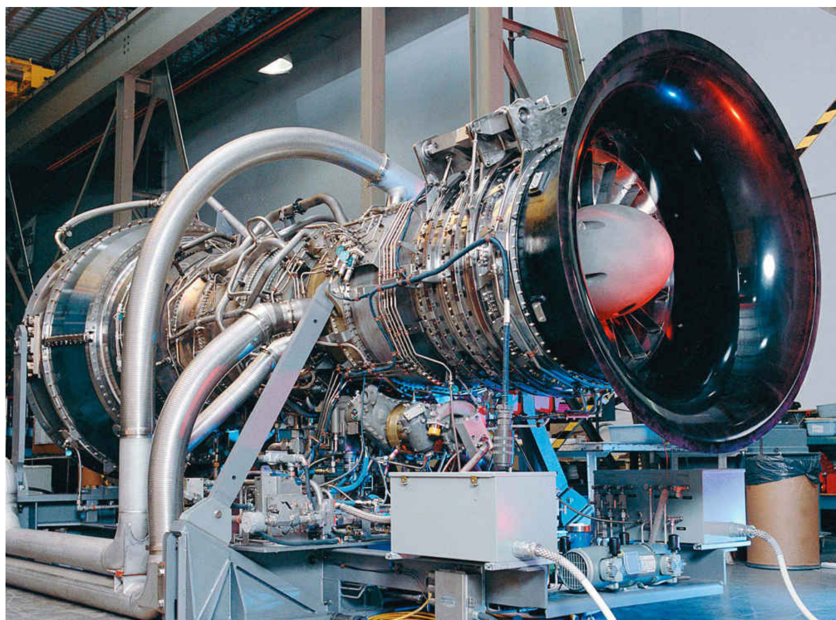
地面发动机以及炼金术

20世纪50年代末和60年代初这段时间，各种情况将普惠公司带入全新的业务领域：发电。首先，公司试图调整其技术，减轻对军事和以周期性著称的航空公司的依赖。如前所述，普惠公司想大力进入航天领域，以及涡轮动力与舰船和燃料电池领域。



用于美国航天计划的早期燃料电池。

你可能会发现燃料电池是离普惠传统发动机业务最远的产品。燃料电池是机电设备，通过催化剂使氢气和氧气结合来发电，生成热和水。没有燃烧，没有污染，效率极高。美国国家航空航天局曾为“阿波罗”登月运载器寻找电源。因为“水星”和“双子座”宇宙飞船使用的电池, 无法在复杂的运载器上把人类送上月球并带回地球。



FT4工业燃气轮机。

自从莱特·帕金斯意识到科学家和工程师都关系到公司的未来，普惠公司就一直在寻找各种新技术使公司经营多元化。燃料电池的出现就是出于这种考虑。燃料电池非常适合长时间航天飞行，清洁、噪声小、高效，甚至可以生产纯净饮用水。

燃料电池运营部门赢得了为“阿波罗”提供燃料电池的合同，紧接着又赢得了航天飞机轨道器的合同。燃料电池运营部是普惠公司独立的业务单位，后来甚至由汉密尔顿标准公司的航天部管理。美国国家航空航天局是个大客户，但是燃料电池部的研究人员不断试验，想要把燃料电池的优势从太空转换到地球。在传奇式人物比尔·波多尔尼的领导下，他们不断地得到研究款项和小合同来研发产品。但是，技术方面需要长时间才能赶上。制造燃料电池非常昂贵，而且不稳定。换句话说，制造燃料电池并不需要火箭科学家运行燃料电池，但他们能给予帮助。

20世纪90年代末，全球变暖带来的挑战和电力需求的不断增加，为技术注入了新的生命。联合技术公司把燃料电池作为联合技术动力这个全新子公司的基石。该公司为建筑群和运输业研制固定式燃料电池电站，当然还有航天和军事应用。联合技术动力公司还与几家汽车制造商合作为轿车改装燃料电池。在一些示范项目上，全球几百辆公

交车使用燃料电池运行。另一个概念计划是使用燃料电池为军用和商用飞机供电。

不上天的发动机

一个与普惠公司核心业务更加密切相关的业务于20世纪50年代末和20世纪60年代初开始发展，就是工业燃气轮机。随着电力需求日益增加，燃气轮机为解决公用电力市场冬夏用电高峰的需要提供了一个完美的解决方案。航改燃气轮机与大型中心电站相比，价格相对低廉，易于安装。其对公用系统不断变化的需求反应非常快，为传统电厂供货的前置时间很短。普惠JT3/JT4系列发动机的大小正好符合日益增长的公用供电需求。此外，作为用于公用事业的理想产品，航改燃气轮机可以改作船用以及石油天然气管道的泵站使用。

这样，就诞生了普惠工业燃气轮机业务以及涡轮动力与舰船（TP&M）部门，并且FT3和FT4系列从JT3和JT4航空发动机的航改燃气轮机诞生。到20世纪70年代中期，共销售了约1100台，主要用于发电。燃气轮机机组还用于货船、美国海岸警卫队的快艇以及加拿大皇家海军的一些船只。这些发动机还为石油和天然气管道泵站提供动力。20世纪70年代最大的项目之一是FT4被沙特阿拉伯选中，为阿拉伯美国联合石油公司（ARAMCO）输油管道泵站提供动力。FT4是最成功的工业燃气轮机之一，使TP&M居于市场领先地位。但是到20世纪70年代中期公用事业增长放缓，普惠资源用于满足新航空发动机项目的需求。由于TP&M没有新产品延续FT3和FT4系列燃气轮机，其地位开始下滑。到1981年，TP&M基本上淡出工业燃气轮机原始设备制造（OEM）业务。然而通用电气公司和罗·罗公司雄心勃勃地推进该项业务，部分原因是普惠占领了商用发动机的主导地位。两家竞争公司需要发现其工业燃气轮机的更多应用，而且工业燃气轮机发展势头良好。



FT8系列工业燃气轮机几乎可以马上提供电力。

自20世纪70年代末，通用电气公司占据工业燃气轮机行业的霸主地位，提供航改燃气轮机和重型燃气轮机，用于动力、舰船和运输市场。

虽不像凤凰般浴火重生，但是涡轮动力与舰船部门，也就是现在的普惠动力系统，通过大量艰苦工作，在20世纪90年代重整旗鼓，将普惠公司最成功的JT8D航空发动机，改装成工业燃气轮机，称作FT8。研制过程痛苦而艰难，需要时间奋起直追。那时，航改燃气轮机的需求似乎正在消退，普惠公司仓库中仍有未销售出的发动机。但是21世纪初，FT8系列燃气轮机开始赢得客户。与早期一样，部分原因是为满足用电高峰和用电量的日益增长。FT8为模块化设计，便于安装，省时省力，节约成本。普惠动力系统还研制了车载FT8机组，可以在道路上运输，到达现场后8h内就能安装完毕开始运转发电。除了传统的原始设备制造业务，普惠动力系统开始为通用电气公司重型工业燃气轮机制造替代部件。为非普惠燃气轮机提供原始设备制造的解决方案以及售后服务，使普惠动力系统成为普惠各种业务组合中增长最快的业务之一。

普惠加拿大公司从来没有完全离开工业燃气轮机市场，普惠动力系统的ST6、ST18和ST40发动机都基于普惠加拿大的航空发动机，受到市场欢迎，用于电力低于60MW的地方，而高于60MW则由最大的FT8机组提供。一些铁路公司对ST40 进行了试验，用作机车动力，燃气轮机在较小船只上的应用也在增长。

曾经一度淡出普惠业务的燃料电池和工业燃气轮机再次成为普惠和联合技术公司未来的关键项目。对于这些成功，耐心的确非常重要，当然还需要运气和努力。

[1] USBI为公司开拓新的业务领域，生产联合技术公司“自由”号（UTC Freedom）和联合技术公司“解放”号（UTC Liberty）固体火箭回收船。由于联合技术公司董事长哈利·格雷的照片经常出现在公司介绍材料的舰船图片上，所以这些固体火箭回收船常在公司内被称为“哈利·格雷海军”。

[2] 氢气来自空气产品公司在现场的工厂，公众称之为“肥料厂”。老前辈们回忆这一做法效果不错，直到第一辆涂有氢气（HYDROGEN）字样的罐车到来将其代替。

[3] 这是总统口误所叫的名字。该飞机本应叫RS-71，但是当林登·约翰逊在记者会上披露该机的存在时称之为SR-71。但是没有人出来纠正，因此后来就称其为SR-71。

[4] 1tF（℉）＝32＋1.8t（℃）。

时间表

普惠公司大事记

20世纪20年代

1925年 8月——弗里德里克·B.伦奇勒及其小组在康涅狄格州哈特福德成立普惠飞机公司，这是位于州府大街上普惠机床厂的一部分。

1925年 12月——R1340“黄蜂”首次开车运转。

1926年 5月——“黄蜂”发动机首飞。

1926年 6月——R1690“大黄蜂”首次开车运转。

1927年 5月——“大黄蜂”发动机首飞。

1928年 1月——使用“黄蜂”和“大黄蜂”发动机的飞机登上美国“萨拉托加”号和“列克星敦”号航母，完成首次重大部署，表现完美无缺。

1929年 2月——普惠加拿大公司开业，员工10人。

1929年 伦奇勒、威廉·波音和钱斯·沃特领导组建联合飞机与运输公司。

1929年 11月——R985“小黄蜂”发动机首次开车运转。

20世纪30年代

1930年 普惠公司完成1929年的搬迁，新厂在康涅狄格州东哈特福德。

1930年 使用“小黄蜂”发动机的“莱尔德”赢得“汤普森杯”。

1931年 使用“小黄蜂”的Gee-Bee Z型飞机赢得“汤普森杯”。

4月——R1830“对黄蜂”首次开车运转。

6月——“对黄蜂”首飞。

1932年 7月——普惠公司首款R2060“黄外套”水冷式发动机首次开车运转，但从来没有飞行。

1934年”航邮丑闻”导致联合飞机与运输公司解体。普惠成为新的联合飞机公司的一部分，新公司还包括汉密尔顿标准公司和钱斯·沃特-西科斯基。

1937年 9月——R2800“双黄蜂”首次开车运转。

1939年 7月——“双黄蜂”首飞。

20世纪40年代

1940年 英、法大量订单与罗斯福总统每年生产50000架飞机的号召导致普惠公司快速扩张。到1943年，普惠厂房面积达900万平方英尺，员工40000人，而1938年普惠公司只有3000人。

1940年 普惠公司使用PT1开始首款涡轮发动机研究，因政府要求普惠专注于活塞发动机的研制和生产而终止。

1940年 11月——哈普阿诺德将军让普惠公司停止水冷式发动机的研制。H-3130仅在1940年4月开始地面试验，但从未飞行。

1941年 4月——R4360“主黄蜂”首次开车运转。

1942年 7月——“主黄蜂”发动机首飞。

1942年 7月——制造“双黄蜂”发动机的堪萨斯城巨大工厂破土动工。

1945年 普惠公司员工队伍减少到约26000人。

1945年 8月——日本投降。普惠公司后续订单额从4亿美元降至300万美元。普惠公司及获许可证生产厂家共制造了363619台发动机。

1945年 10月——美洲航空公司为DC-4订购了252台新的“对黄蜂”发动机，是那时普惠最大的商用订单。

1947年 7月——与罗·罗公司签订“尼恩”发动机技术许可证协议后

J42涡轮“黄蜂”的设计工作开始。1948年3月首次开车运转，1948年10月海军审定。

1947年 T34涡桨发动机在B-17试飞平台上首次试飞。这是普惠公司设计的首款轴流式燃气涡轮发动机。

1948年 基于罗·罗公司“泰”发动机的功率更大的J48设计工作开始，1949年秋计划首飞。

1949年 2月26日—3月2日——B-50“幸运夫人”II利用空中加油完成首次环球飞行。

1949年 5月——J57设计开始。

20世纪50年代

1950年 2月——J57首次开车运转。

1951年 8月——普惠公司启动核能航空发动机工作。

1952年 4月——B-52原型机首飞。“鲁克”·霍布斯和普惠公司因此赢得1952年“科利尔杯”。

1953年 5月——使用普惠发动机的北美F-100“超级佩刀”成为首款平飞速度超过Ma1的生产型飞机。

1953年 首次发射使用洛克达因发动机的“红石”导弹。

1955年 春天——JT4/J75发动机首飞。

1955年 5月——CANEL核能研究设施破土动工。

1956年 4月——弗里德里克·伦奇勒逝世。

1956年 7月——普惠公司首款涡扇设计的试验型JT10首次开车运转。

1957年 秋——氢燃料304发动机首次开车运转。

1957年 12月——首次发射使用洛克达因发动机的“宇宙神”导弹。

1958年 2月——JT3D成为普惠公司首款商用涡扇发动机。

1959年 5月——佛罗里达研发中心正式运营。

20世纪60年代

1960年 春——工业燃气轮机样机首次开车运转。

1960年 5月——首次发射使用洛克达因发动机的“德尔塔”运载火箭。

1961年 4月——JT8D首次开车运转。

5月——SR-71使用的J58-P-4发动机首次开车运转。

1961年 5月——普惠加拿大公司PT6首次试飞。

1961年 10月——首次发射使用洛克达因发动机的“土星”运载火箭。

1964年 12月——普惠公司首款加力涡扇发动机TF30首次试飞。使用J58发动机的SR-71首飞。

1966年 3月——普惠公司超声速飞机发动机JTF17首次开车运转。

12月——普惠公司首款大涵道比涡扇发动机JT9D首次运转。

1967年 JT15D首次开车运转。

20世纪70年代

1970年 2月——JTF22验证发动机被选作F-15的发动机本体F-100。

1970年 12月——F-14“雄猫”首飞。

1972年 7月——F-15/F-100首飞。

1974年 2月——YF-16原型机首飞。

1974年 8月——JT10D首次开车运转。

1977年 3月——JT8D-200系列原型机试飞。

1979年 10月——MD-80首飞。

20世纪80年代

1981年 12月——PW2000首次开车运转。

1982年 2月——PW100研制试飞起动。

1983年 12月——国际航空发动机公司成立。

1984年 4月——94in风扇PW4000首次开车运转。

1984年 12月——PW2000投入运营。

1985年 12月——V2500首次开车运转。

1987年 6月——94in风扇PW4000投入运营。

1989年 5月——国际航空发动机公司的V2500投入运营。

20世纪90年代

1990年 8月——PW300系列取证。

1991年 4月——使用普惠发动机的YF-22原型机赢得ATF竞赛。

1992年 12月——F119首次开车运转。

1991年 12月——PW200系列认证。

1993年 8月——100in风扇PW4168取证。

1994年 4月——112in风扇PW4084取证。

1994年 12月——PW4168投入运营。

1995年 5月——PW4084第一台发动机在投入运营时就获得180minETOPS认证。

1995年 6月——PW4084投入运营。

1995年 12月——PW500 系列认证。

1996年 4月——批准普惠公司与俄罗斯建立动力机械科研生产联合体合资公司，生产RD180。

1996年 8月——普惠公司与通用电气公司组建发动机联盟公司研制超大型飞机使用的发动机。

1997年 9月——F-22/F119首飞。

21世纪

2000年 8月——PW6000首飞。

2000年 9—10月——使用普惠发动机的联合攻击战斗机（JSF）首飞。

2001年 4月——先进技术风扇整合发动机，即齿轮传动涡扇发动机样机首次开车运转。

2001年 10月——普惠公司获得JSF使用的F135发动机的正式合同。

2002年 2月——以普惠为首的团队因JSF升力风扇系统的工作而获得“科利尔杯”。

2003年 6月——普惠公司GDE-1首次载重飞行的超声速燃烧冲压喷气发动机在试验中达到Ma4.5。

2004年 3月——发动机联盟公司GP7000发动机首次开车运转。

2004年 11月——PW6000在A318飞机上首飞。

2005年 8月——普惠公司完成对洛克达因公司的收购。

2005年 11月——普惠组建新的单位——全球服务伙伴，以快速扩展其服务业务。

2005年 12月——普惠加拿大公司的PW600初始取证，用于新兴的超轻型喷气机市场。

2006年 11月——首架GP7000/A380飞行。

2006年 12月——F-35联合攻击战斗机首飞。

2007年 10月——日本三菱公司选用普惠公司齿轮传动涡扇发动机用于新的支线飞机。

2007年 11月——齿轮传动涡扇发动机首次开车运转。

2008年 2月——庞巴迪推出使用普惠公司齿轮传动涡扇发动机的C系列飞机。

世界航空大事记

20世纪20年代

1924年 陆军的道格拉斯“世界巡航者”完成首次环球飞行。

1926年 3月——罗伯特·戈达德发射第一枚液体燃料火箭，飞行2.5s。

1926年 艾伦·拉菲德组建第二家公司，使用洛克希德（Lockhead）的发音拼写避免叫法混乱。

1927年 4月——第一批民用飞机飞行员许可证颁发，其中的获证者有商务部航空处处长威廉·P.麦克拉肯。奥维尔·莱特由于不再飞行拒绝了此荣誉。

1927年 5月——林德伯格首次完成跨大西洋单飞。

1927年 5月——波音40A首飞。

1927年 10月——泛美航空公司开始基韦斯特到哈瓦那的运营。

1928年 格伦·马丁在巴尔的摩组建格伦·L.马丁航空公司。

1928年 6月——艾米利亚·厄尔哈特成为第一位乘飞机飞过大西洋的女性。

1928年 12月——北美航空公司组建，这是一家股份公司。

1929年 9月——吉米·杜丽特尔表演仪表飞行。

20世纪30年代

1930年 5月——波音“单邮”首飞。

1931年 10月——首架西科斯基泛美“飞剪”投入运营。

1932年 5月——艾米利亚·厄尔哈特成为第一位跨大西洋单飞的女性。她曾在1928年作为首位女性乘客飞越大西洋。

1933年 波音247首飞。

1933年 7月——DC-1首飞。

1935年 XB-17首飞。

1935年 12月——DC-3原型机道格拉斯“卧车”首飞。

1937年 4月——弗兰克·惠特尔勋爵的首台喷气发动机成功运转。

1938年 6月——波音“飞剪”和DC -4首飞。

1938年 12月——波音“平流层客机”是首款增压座舱客机。

1939年 詹姆斯·S.麦克唐纳组建麦克唐纳飞机公司。

1939年 8月——He178在亨克尔首飞使用汉斯·冯·奥海因研制的喷气发动机。

20世纪40年代

1941年 6月——美国陆军航空军更名为美国陆军航空队。

1942年 4月——杜利特尔东京空袭。

9月——B-29首飞。

1943年 洛克希德“星座”首飞。

1944年 1月——美国首款喷气机洛克希德XP-80首飞。

1944年 9月——V-2火箭，世界首枚弹道导弹。

1946年 2月——DC-6首飞。

4月——北美公司开始首款火箭发动机的工作，用于“纳瓦霍”导

弹。

8月——康威尔B-36首飞。

1947年 7月——波音“平流层巡航者”首飞。

1947年 9月——美国陆军航空队成为独立的美国空军。

1947年 10月——查克·耶格尔驾驶贝尔XS-1突破“声障”。

1947年 10月——北美公司的XP-86是美国首款后掠翼战斗机。

1947年 11月——霍华德·休斯的“云杉鹅”进行首飞，也是仅有的一次飞行。

1947年 12月——美国首款后掠翼喷气轰炸机波音XB-47首飞。

1949年 7月——德哈维兰“彗星”首飞。

20世纪50年代

1952年 5月—— 德哈维兰“彗星”在英国海外飞机公司（BOAC）投入商业运营。

1954年 7月——波音707原型机波音“冲”80首飞。

1956年 9月—— 威廉·波音去世。

1957年 10月——苏联发射人造地球卫星。

1957年 12月——波音707首飞。

1958年 1月——美国第一颗卫星“探险者”I号发射。

1958年 5月——道格拉斯DC-8首飞。

1958年 10月——美国国家航空咨询委员会（NACA）改为美国国家航空航天局（NASA）。

1958年 11月——国会创建美国联邦航空局。

1959年 4月——挑选“原始7”水星宇航员。

1958年 ——道格拉斯公司推出DC-8。

1958年 ——F-4“鬼怪”战斗机在麦克唐纳-道格拉斯（简称麦道）公司亮相。

1958年 泛美航空公司引进波音707，开始跨大西洋运营。

1959年 X-15首飞。

20世纪60年代

1961年 4月——尤里·加加林成为进入太空第一人。

1961年 5月——艾伦·谢泼德成为进入太空第一个美国人。

1962年 2月——约翰·格伦成为进行轨道飞行的第一个宇航员。约翰·肯尼迪总统宣布“阿波罗”计划的目标是把人送上月球。

1963年 2月——波音727首飞。

1965年 DC-9首飞。

1967年 4月——波音737 首飞。

1967年 4月——麦克唐纳与道格拉斯合并。

1968年 12月——首款超声速运输机图-144首飞。

1969年 2月——波音747首飞。

1969年 3月——“协和”号超声速运输机首飞。

1969年 7月——尼尔·阿姆斯特朗成为登上月球第一人。

20世纪70年代

1970年 8月——DC-10首飞。

1970年 12月——空中客车工业公司发起。

1974年 12月——B-1首飞（1984年10月，B-1B首飞）。

1975年 10月——空客A300系列首飞。

1978年 11月——美国航空公司行业解除管制。

1978年 11月——F-18首飞。

20世纪80年代

1980年 8月——詹姆士·S.麦克唐纳去世。

1981年 2月——唐纳德·道格拉斯去世。

1981年 4月——航天飞机首飞。

1981年 9月——波音767首飞。

1982年 2月——波音757首飞。

1982年 4月——A310-200首飞。

1987年 2月——A320首飞。

20世纪90年代

1990年 1月——MD-11首飞。

1990年 4月——发射哈勃太空望远镜。

1991年 9月—— C-17首飞。

1991年 10月——A340首飞。

1992年 11月——A330首飞。

1993年 2月——MD-90首飞。

1994年 6月——波音777首飞。

1995年 洛克希德公司与马丁·玛丽埃塔公司合并。

1997年 波音公司与麦道公司合并。

1998年 MD-95首飞。

21世纪

2000年 12月——空客发起A380飞机。

2002年 1月——A318首飞。

2002年 8月——”日蚀”500VLJ首飞。

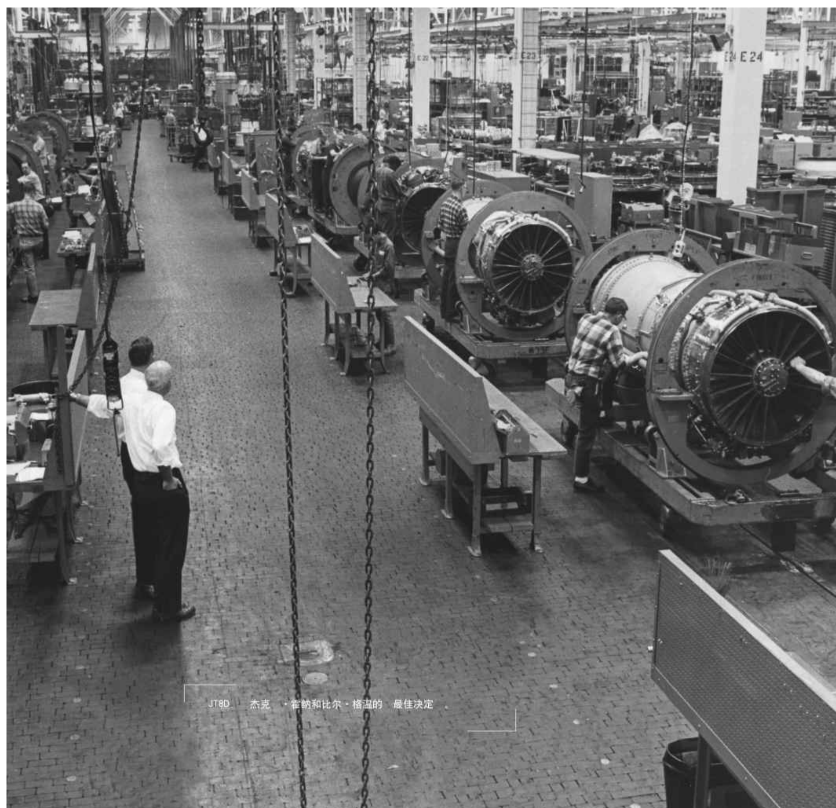
2004年 4月——波音公司发起波音787。

2005年 4月——赛斯纳“小野马”VLJ首飞。

2005年 4月——A380首飞。

2005年 10月——空客发起A350（2006年7月A350XWB）。

2007年 7月——巴西航空工业公司飞鸿超轻型喷气机（VLJ）首飞。



JT8D，“杰克”·霍纳和比尔·格温的“最佳决定”。

第6章 发动机只管不断向前，向前，向前

大概是普惠历史上最成功的发动机，并且是整个航空业生产最多的两种商用喷气发动机当中的一种，却在开始时被当作“丢弃物”，这是否颇具讽刺意味。

用于波音727、波音737、DC-9和MD-80以及一些法国“快帆”和“水星”等型号飞机的JT8D基于J52涡轮喷气发动机。这款发动机原来的设计是一次性使用发动机，用于“猎犬”——一种早期的巡航导弹。因为结构简单，坚固耐用，发现用于A-4“空鹰”和 A-6“入侵者”海军攻击机效果也很好。J52生产从20世纪50年代初一直持续到1986年。

那么，“丢弃物”是如何成为获得巨大成功的JT8D的呢？故事还得从一个电话说起。那是1960年初，东方航空公司的查尔斯·弗罗施给他在普惠公司的朋友弗兰克·杜林打电话。东方航空公司是老客户之一，要购买新的波音727喷气机。这种飞机是中短程喷气机的首款飞机，将替代康威尔440、马丁2-0-2和大量仍在飞行的DC-3。这种飞机的独特之处在于所用的3台发动机全部装在尾部。1959年，波音公司开始研制波音727时，罗·罗公司的斯贝发动机也在被选之列。情况很快明朗，波音727与类似的新飞机一样越来越重。人们怀疑斯贝发动机是否能增加推力。弗罗施打电话给杜林，询问普惠公司是否有适合用于波音727的发动机。

当时，普惠公司正在研制非常先进的发动机，公司内部称JTF10A。这种发动机基于TF30战斗机发动机的核心机，但是飞机公司和航空公司对其先进技术的商业应用持谨慎态度。波音对正在研制的这种发动机前景并不热情。如果普惠的发动机要装配波音727，那么普惠公司就应该拿出比斯贝发动机更有明显优势的发动机。这种发动机需要足够坚固，适用于短程商业运营，并且能够很快研制出来。J52的推力是11200lbf，其大小正合适。但它是军用涡喷发动机，完全不适合商业运营。普惠人又一次开始了每周7天每天24h的冲刺，最后拿出了JT8D。1960年3月，仅用一周的时间就完成了书面概念设计。新设计使用J52核心机，加上新的低压段和两级风扇。为了使中央发动机适合在尾部安装，将增加一个全尺寸外涵进气管道。传统的布局是让外涵空气从短舱前很远的地方流出发动机，中央发动机位于

机身后段尾部之内。而这种布局无法适用于波音727机型。



JT8D和**JT8D-200**成为商用航空史上那个时期生产最多的喷气发动机；很多在**21**世纪仍能进行良好飞行。

有了这一设计概念，普惠公司决定向前推进研制。研发经费达7500万美元，这在1960年可不是小数目。几年后，“杰克”·霍纳说：“这是比尔和我做出的最佳决定。”1961年4月7日，发动机首次开车运转。1963年投入使用。在1996年批量生产停止前，普惠公司共制造了15000台JT8D。

波音727取得巨大成功。而道格拉斯公司看到另一个机会，市场

需要比较小一点的飞机。于是诞生了DC-9，同样也使用JT8D来提供动力。波音则以原来的波音737应对DC-9，同样JT8D 又一次中选。这样，3种飞机和JT8D轻而易举地战胜“三叉戟”、BAC-111以及“快帆”等飞机。航空公司喜欢JT80发动机。该发动机简单、极其可靠、易于使用，而且维护和运营成本较低。

JT8D甚至还有一个军用衍生产品，叫沃尔沃RM8，用于瑞典“雷”式战斗机。

到20世纪70年代，道格拉斯公司寻找延长DC-9产品线寿命的方法。该公司的确需要较大的、更节省燃料的飞机。于是，普惠公司将原来的JT8D重新设计为JT8D-200系列，通过采用新的风扇和其他改装把推力从14000～17000lbf提高到20000～21700lbf。为新的麦道MD-80制造了2000多台JT8D-200发动机。

20世纪90年代，严格的新噪声标准看来要宣告JT8D的终结。普惠公司与诺达姆等几家公司合作，解决了这一问题。他们研制了降噪声套件，使波音727、波音737和DC-9符合III阶段噪声规定。这样，数千台JT8D可以顺利飞入21世纪。此外，又开发了该发动机的另一个用途。规定要求JT8D-200用于美国空军707联合监视和目标攻击雷达飞机的换发以及现代化计划。



使用**JT8D**的波音**727**客机。
（波音公司友情供图。）

1960年用一周时间重新设计的被“丢弃”的发动机，一路以来，走得不错。

非常巨大的风扇

“这是比尔（格温）和我所做出的最佳决定。”

20世纪60年代初，美国空军正在为空运问题忙得不可开交。C-130 和C-141都是好飞机，但是不能满足空军对容积的要求，空军需要载量非常大、飞行距离远的飞机。例如，C-141，载重量相当大，而容积相对小得多。1964年，一系列初步研究结果促使波音、洛克希德和道格拉斯几大公司之间对新的超大型运输机的竞争，结果诞生了C-5A。普惠和通用电气公司得到为巨型新运输机研制发动机的合同。

两家公司认识到，满足C-5A要求的唯一出路是大幅扩展整个涡扇。涡扇效率高，能把吸进的大量空气分出一部分，使之流过发动机核心机周围，而不进入核心机，称之为涵道比。简单地说，将大量的外涵空气适当加速，比将流入核心机的少量空气大大加速更能使发动机的效率提高。JT3D和JT8D发动机的涵道比为1.1～1.4比1之间，大部分空气仍流入核心机。要达到C-5所需要的巨大推力，同时把油耗保持在合理的水平，则需要更大的涵道比。流过涵道的空气应是流入核心机的空气的4～5倍。这就意味发动机前面的风扇要吸进其前方的所有空气。



JT9D在发动机尺寸和功率方面代表跃升性变化，因此需要巨大的新试车台。图中所示为康涅狄格州米德尔顿工厂的试车台。

通用电气公司大涵道比概念的工作已经进行了一段时间，并在1965年8月以TF39赢得C-5的竞争。当时发动机界的人们都感受到这一巨大胜利的冲击。TF39后来成为通用电气公司非常成功的CF6系列商用发动机。随后，洛克希德公司赢得C-5机身的竞争。



JT9D（左）与JT3D（右）比较。

两家“败方”（指普惠公司和波音公司）并不气馁。也许他们会把各自的设计用于新的商用飞机。洛克希德的飞机是上单翼，不太适合商用，而波音公司的设计要可行得多，普惠JT9D与之相配恰如其分。

在英国，罗·罗公司正在紧锣密鼓地进行大涵道比发动机设计的工作，主要力量集中在“协和”超声速飞机使用的发动机上。这样的发动机有技术亮点，但也是财务灾难。公司遇到一些困难，因为其另外两个大商用发动机计划，“三叉戟”和BAC-111与日进斗金的JT8D相比，并未取得巨大成功。罗·罗公司尽最大努力用RB-211系列发动机进行大涵道比发动机竞赛，最后使用在洛克希德L-1011“三星”上。遗憾的是，L-1011也没有取得巨大成功，罗·罗公司发动机采用的是原复合材料的风扇。结果罗·罗公司倒闭，被政府接收，暂时限制了其竞争能力。然而，罗·罗公司会卷土重来。

与此同时，波音公司和普惠公司正在为波音747/JT9D飞机/发动

机组合寻找客户。果然不出意料，泛美航空公司总裁胡安·特里普经过与洛克希德和道格拉斯几番周折谈判无果后自动送上门来。他提出各种性能保证要求，极力讨价还价。某种程度来看，波音以公司相赌，普惠公司也不示弱。泛美航空公司的一位副总裁劳伦斯·库特提出，波音公司、普惠公司和泛美航空公司应该在设计、制造和航空公司运营等几乎各个阶段都推进现代科技，把这款飞机做成功。他称波音747为“大赌博”。

对于波音公司来说，这意味要在华盛顿州埃弗利特建设巨大的组装厂，它将是当时世界上一个屋顶覆盖面积最大的建筑。而对于普惠公司来说，要在康涅狄格州米德尔顿康涅狄格自动化核子发动机实验室旧址建设新的组装和测试设施。东哈特福德工厂没有适合JT9D的大厂房和足够大的试车台，新设施是当时普惠公司从来没有建设过的如此巨大的建筑。

JT9D项目给所有参与方不仅造成难以承受的头痛折磨，还把波音公司与普惠公司之间长久而密切的关系搞得紧张不快。普惠公司一如既往勇担重任，但并非没有（在此对温斯顿·丘吉尔表示道歉）付出大量汗水和眼泪，甚至一些人所说血的代价。

同往常一样，重量一直是问题的关键。普惠公司原来为C-5A所推荐的JT9D概念上是36000lbf推力的发动机。随着波音747的成型，要求41000lbf推力，并且还有人说需要43000lbf甚至44000lbf的起飞推力。



20世纪70年代，JT9D和波音747一起改变了商用航空。

随着研制的进展，波音747变得越来越大，越来越重，达到100000lbf。JT9D需要非常吃力地工作，飞机才能起飞，还要满足航程、商载和油耗保证。波音和普惠以波音747/JT9D的庞大体积和巨大功率正在把航空业带进全新领域。当时的一些普惠工程师私下说，无论他们自己还是波音公司都没有完全了解从波音707/JT3D到波音747/JT9D的飞跃，体积增大3倍，功率提高3倍，等等，其增大幅度不仅仅是数学级数的差别，而是几何级数的差别。

世界各地的航空爱好者喜欢讲那时候的故事。停在波音公司的波音747只是没有发动机的裸机；大水泥块拴在机翼上，等等。比尔·格温1970年作为乘客第一次坐波音747飞行时，因发动机不能正常起动而觉得尴尬。[1]

飞行员不得不加大波音747飞机的JT9D发动机油门。温度升高加快部件磨损，而且耗油量增加。此外，发动机机匣变形呈“椭圆”，即尺寸超限，造成发动机气流泄漏，结果效率和推力都下降。发动机起

初并不成功，但是普惠人一个一个地解决问题，还是遵循老的原则：只要发动机的最佳性能和可靠性没有被挖掘出来，工作就没有完成。JT9D从43000lbf推力增长到56000lbf，成为JT9D-7R4系列。JT9D虽然在1990年停产，但仍在波音747、波音767、DC-10、A300和A310等飞机上使用，飞向遥远的未来。



晚起步的普惠公司奋起直追，但是却强势登上空客飞机。
（本图空客版权，获准使用。）

道格拉斯公司推出DC-10，在交通量较小的航线上成为波音747的竞争对手，并在1968年选用通用电气公司的CF6发动机，而CF6是赢得C-5竞争的TF39的商用型。这是通用电气公司的重大突破。在JT9D受挫后，1972年，CF6装配波音747。罗·罗公司也卷土重来，3年后，也在波音747上赢得一席之地。从此商用飞机只装载一种发动机的时代结束了。[2]

图卢兹在哪里？

20世纪60年代末，欧洲航空航天工业被迫收缩。军事预算比美国少，有时欧洲国家不得不购买美国设备以保持对苏联的优势。大部分欧洲商用计划惨淡失败。欧洲各国领导人逐渐认识到，只要在欧洲分英国计划、法国计划、德国计划等，就永远不会成功。欧洲必须联合

起来和美国人相比才有取胜的机会。这样，空中客车工业公司在1969年创立。新公司将制造双发宽体飞机，紧接DC-10和L-1011之后。但是使用谁家的发动机呢？

罗·罗公司与法国国有发动机制造公司斯奈克玛有相当密切的关系。实际上，罗·罗公司在为空客首款飞机A300提供发动机方面略胜一筹。但是，当时英国公司正忙于洛克希德L-1011的RB-211发动机，没有资源同时进行两个计划。洛克希德公司是美国的知名公司，他们认为把赌注押在自己公司上比押在总部位于法国图卢兹的新公司上胜算要多。

普惠公司也与斯奈克玛合作多年，实际上1959年就得到这家法国公司10%的权益。斯奈克玛与普惠围绕TF30战斗机的发动机在一些军用计划上进行合作，但是这一关系并未开花结果。即使斯奈克玛督促普惠参与空客公司的这一新计划，东哈特福德也没有表现出极大兴趣。这大概是因为很多资源集中在波音747和DC-10计划和美国新的军事业务上。今天人们可能很难想象获得杰出成功的空客公司在20世纪70年代初并不被看好，认为它永远造不出一架飞机，更别说成为与波音和道格拉斯抗衡的市场竞争对手。

通用电气公司的地位有点不同，多年来，通用电气公司没有商用业务可言，与DC-10的合作才刚刚起步。通用电气公司的发动机要装配波音747还需要几年时间。而通用电气公司这时抓住一个机会，与斯奈克玛达成协议。正如我们将观察到的，此举具有深远意义。通用电气公司的发动机成为A300和A310的起动发动机。

普惠公司利用JT9D-7系列发动机进行还击，并在这两款飞机上赢得一席之地，但与空客公司建立密切关系尚需时日。

---

[1] 1969年10月1日，格温接替霍纳登上UAC董事长宝座。而9月31日，第一架波音747下线。霍纳后来回忆，那天晚上21：00在西雅图晚宴上，他意识到东哈特福德时间是10月1日中午12：00："这样，我走到对面，拉住比尔，我们相对站着，我说,'好了，比尔，就在这里，上任吧，你现在是董事长兼首席执行官'。"

[2] 大概是DC-10首开先河，通用电气公司赢得初始应用后，西北航空公司说他们不购买DC-10除非它们安装普惠发动机。因此，普惠公司及时改装波音747发动机。工业观察家们当时认为，此举激怒了波音公司，极力要在波音747上用通用电气公司的发动机，后来是罗·罗公司的发动机。只有西北航空公司，后来的日本航空公司购买了安装普惠发动机的DC-10。

第7章 “小普惠”干大事

普惠加拿大公司可以被描述为小公司。多年来，从一个小维修厂发展成世界性的公司，它所生产的42000多台发动机在190个国家服务于9000家用户。公司内外经常称其为“小普惠”，但该俚语般名称已不再适用现在的普惠加拿大公司，而且早已不再适用。

然而，回到1928年，这一名称可能很合适。“大普惠”（指普惠公司）看到新兴的加拿大市场机会，但进入该市场需要有途径。当时还存在“大英帝国”，其关税体制对在加拿大的英国发动机有利。发动机部件比整机税率低，因此“大普惠”把发动机套件运到加拿大，“小普惠”把这些部件组装成整机。普惠加拿大公司了解加拿大客户的需求，为在家门口的加拿大运营商提供发动机服务。这样，普惠加拿大公司1928年末组建，1929年2月，在蒙特利尔郊区隆格伊开业，有10名员工。



普惠加拿大公司**1929**年初在魁北克省蒙特利尔郊区隆格伊开业，有**10**名员工，组装和大修”黄蜂”和“大黄蜂”发动机，并提供服务。

詹姆士·扬是该公司第一任总裁。他先前在尼尔斯-比门特-庞德公

司和普惠机床厂工作。鉴于扬是加拿大航空业早期杰出领导人之一，他担任普惠加拿大公司总裁至1947年，此后仍留在董事会直到1964年。普惠公司从未打算让加拿大这个兄弟公司成为建构完全的发动机制造商，而是让它为加拿大市场组装发动机，并提供大修和修理服务。但是普惠加拿大公司的领导们在头脑中始终有一个想法，总有一天他们要真正进入制造业。

维修服务业务曾是普惠加拿大公司多年的经营核心，这让他们吸取了珍贵的经验教训。他们的客户很多都是小运营商，这些小运营商在加拿大荒野靠通用飞机飞行，这就是今天被浪漫化的著名丛林飞行员。普惠加拿大公司很快就学会了如何为位于极其偏远的地区，非常小的运营商提供一流服务。这一经历使普惠加拿大公司在别人需要的时候就能帮上大忙。即使在今天，普惠加拿大公司还通过遍布全球6大洲30多个服务设施组成的网络，为190个国家9000家运营商的23000架飞机所安装使用的42000台发动机提供支持。

繁忙的业务

因为普惠加拿大公司在规模上受到制约，其员工经常到处寻找新业务。例如，1930年，扬与汉密尔顿标准公司谈判在加拿大维修其螺旋桨的协议。这就是普惠加拿大公司成为真正制造业公司的第一粒种子。

随着二战到来，普惠加拿大公司与其他航空企业一样几乎呈指数增长。1939年，公司有17名员工，业务额仅48.8万美元。到1943年，公司从业人员达440人，销售额攀升至850万美元。普惠加拿大公司把精力集中在“黄蜂”发动机上，这些发动机用于哈佛和诺斯曼公司的教练机与通用飞机上。同样，其工作又被限制在为加拿大飞机制造商组装美国制造的发动机。加拿大政府相当完善地制定了一项政策，即加拿大制造商为战争努力做贡献的最佳方式就是制造经过实践检验的美国或英国设计的产品。这一政策促使普惠加拿大公司于1941年成立了自己的第一个制造公司：加拿大螺旋桨有限公司。该公司生产汉密尔顿标准公司12D40两翼螺旋桨，用于轻型飞机。普惠加拿大公司向航空业证明，它不仅能组装和维修设备，而且能制造设备。

约翰·德拉蒙德是加拿大螺旋桨公司的工装和生产经理，他在公司历史书《动力：普惠加拿大公司史话》中回忆当年那些日子：

我们提前几个星期生产出12D40螺旋桨，政府要求我们专注于这

一工作。我们每个月的产量达到1000多副12D40螺旋桨。我们的工厂效率和产品质量不久得到认可，名列榜首。车辆满载着我们制造的螺旋桨运往加拿大和美国的目的地。[1]

帮助普惠加拿大公司发展的另一关键点来自对“空运司令部”（Ferry Command）的支援，该机构必须把来自加拿大和美国工厂的几千架飞机运过大西洋。飞越这个大“池塘”在1939年是一件相当艰巨的任务，那时这样的任务通常由水上飞机或飞艇来完成。普惠加拿大公司团队知道如何支援像洪水般到来的发动机和螺旋桨，如何通过他们的手运往欧洲战场。这种经历使普惠加拿大公司在多年丛林飞行中锻炼出来的杰出支援能力如虎添翼。

随着战争的结束，普惠加拿大公司同航空业其他公司一样，必须找到留在这个行业的某种途径。大概因为普惠加拿大公司是一个小公司，而且具有真正的企业家精神。公司立刻就发现并积极投入到剩余战争物资业务中去。约翰·德拉蒙德回忆道：

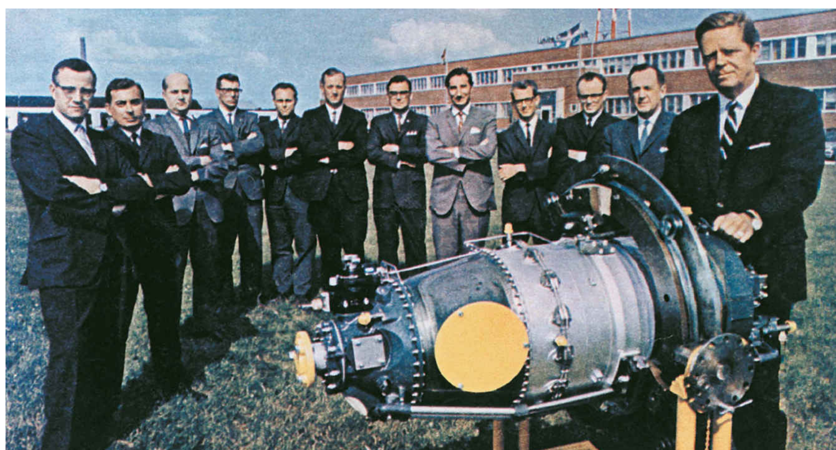
只有“黄蜂”和“小黄蜂”发动机在北美的商用航空业被广泛使用。这种发动机自二战以来由获得生产许可证的厂家生产。我们还知道，几千架战时飞机不久将进入商用市场。这些飞机用户将需要可靠的发动机和备件来源。……哈特福德的观点是不想参与这个市场。如果他们对获得生产许可证厂家的产品承担责任，可能会影响他们的声誉。他们还觉得提供这些产品会影响新发动机和部件的销售。我有不同的观点，我们必须面对现实，剩余产品是现实。这些东西要派上用场。它们需要支援，我们不提供，其他公司将提供。

詹姆士·扬不得不去哈特福德，做一些沟通工作。“大普惠”和联合飞机公司同意普惠加拿大公司进入剩余战争物资业务。普惠加拿大公司再次打造链条中的一个环节，从而引领普惠加拿大公司成为一家主要制造商。同时，普惠加拿大公司参与到一个全新的业务领域——直升机。普惠加拿大公司成为西科斯基公司在加拿大的代理商，西科斯基是联合飞机公司的姊妹公司。普惠加拿大公司员工了解了一个全新的航空领域，建造了知识库，为公司制造直升机发动机做好了准备，这是公司未来的一个关键市场。

正如人们所注意到的，普惠加拿大公司总是立足要成为真正的制造商。这在20世纪40年代末是必然的。1948年接任总裁的罗恩·赖利说：“如果公司要继续成长和发展，就必须改变其经营特点，开始制造。”朝鲜战争带来了机会。“大普惠”J48的订单如潮水涌来，需要帮助。原来的想法是让普惠加拿大公司制造J48的部件，但是加拿大政府鼓励普惠加拿大公司在隆格伊制造“黄蜂”发动机整机。据估计市场

对这种随处可见的发动机将有大量需求。

据约翰·德拉蒙德回忆，要求普惠加拿大公司每年为美国生产250台发动机，为加拿大生产50台。“我们拟定了一个计划书。政府接受并要我们放下J48（部件）项目。我们照办了，因我们有一项合同。按照合同，我们会成为一家主要生产商。”自20世纪50年代末，美国和加拿大达成一项协议，取消了许多限制，对与防务有关的产品不一定必须“购买美国制造”的机器。1951年签订一项正式合同，要求普惠加拿大公司在未来5年生产1000台发动机和备件。朝鲜战争结束后，对“黄蜂”发动机的需求下降，但普惠加拿大公司与“大普惠”达成协议，使普惠加拿大公司成为所有活塞发动机备件的供货厂家。



1956年，公司采取的第一步是组建燃气涡轮专家设计团队，领导研制加拿大首款**PT6**小型涡轮发动机。

当时的员工都记得他们经常到哈特福德出差，学习如何制造发动机。他们喜欢的出行方式是乘坐到哈特福德的夜班列车，叫“华盛顿人”号。晚20：30离开蒙特利尔，该列车通常都晚点，次日拂晓到达。回程是半夜出发，如果正点，上午9：00到蒙特利尔。根据《动力：普惠加拿大公司史话》记载，“那个年代在普惠加拿大公司工作且当了爸爸的人，他们的孩子都只认得电话里爸爸的声音。”

人们会说，“黄蜂”发动机的工作是普惠加拿大公司历史上最关键的一步。公司的老员工鲍勃·勒施简明扼要地总结道：“我们负责成本和那些部件的销售，这样我们才有权得到利润。我们用这些利润研制了PT6。”

“参天大树，生自毫末……”

如果说普惠成功于“黄蜂”，那么普惠加拿大公司则成功于PT6。这么多年来，普惠加拿大公司为具有各种需求的大量客户定制了90来种不同型号的发动机，共计43000多台PT6，功率从580hp到1900hp。显然，这是世界上最受欢迎的轻型到中型涡桨和涡轴发动机。普惠加拿大公司把从“黄蜂”发动机得到的利润用于此项投资的确是明智之举。

实际上，PT6并不是普惠加拿大公司研制的第一款燃气涡轮发动机。1957年，加拿大政府在寻找一种新的教练机。普惠加拿大公司则开始了小涡喷发动机的工作，即DS-3J和后来的DS-4J。研制工作开始后，挑战接踵而来。财务方面的挑战，加之其他方面的困扰，有点超过了普惠加拿大公司的预料。因此项目被转到东哈特福德，在那里该机型被更名为JT12。隆格伊的普惠加拿大公司人员有点失望。但是从长远观点看，这可能是因祸得福，因为普惠加拿大公司可以专攻PT6了。

> “那个年代，在普惠加拿大公司工作且当了爸爸的人，他们的孩子都只认得电话里爸爸的声音。”

1958年期间，他们进行了大量的市场调研，哪些发动机已经投放市场，哪些发动机还在绘图板上。调查小组造访了派珀、比奇和赛斯纳等飞机公司。目的是发现对新发动机相对开放的市场点。艾利逊正在忙于250hp范围的发动机，罗·罗“飞镖”功率范围为2000hp，而艾利逊用T56系列控制着大涡桨发动机。最后，肯尼斯·沙利文和后来任公司总裁的埃尔维·史密斯领导的小组提出建议，普惠加拿大公司应研制450hp的涡桨发动机，并可以提高到500hp。这个功率范围适合加拿大的飞机，像“水獭”和“海狸”等。普惠加拿大公司目标是制造的发动机与小活塞发动机的使用成本相同，但是把飞机的速度增加50mile/h。

工程团队分析判断应该制造何种发动机。最后决定，自由涡轮发动机与固定轴发动机相比是更好的选择。肯尼斯·沙利文和拉里·米尔布里在他们的《动力：普惠加拿大公司史话》一书中解释了其中的道

理。

在固定轴发动机上，燃气发生器和动力涡轮共用一个轴。而在自由涡轮发动机上，有两个组件，一个驱动压气机，另一个产生动力，两者之间的连接不是机械的，而是流过发动机的高温燃气。固定轴发动机需要部件较少，因此研制成本较低。自由涡轮发动机比较复杂，因此成本比较高，但是其具有需要比较小的起动功率和比教简单的燃油控制装置。在直升机上，自由涡轮发动机不需要离合器，飞机功率需要较大时发动机也容易配套。固定翼飞机可以使用货架螺旋桨配自由涡轮发动机，而固定轴发动机则需要定制螺旋桨，价格高。



研制了**90**来个不同型号的**PT6**发动机。

飞行人员喜欢自由涡轮，因为在发动机熄火的情况下，其产生阻力较小。风转螺旋桨只需转动自由涡轮，而不是整个压气机和涡轮机。飞机结构不必像使用固定轴发动机的飞机结构那样粗壮而沉重。

如今回想起来，觉得所有这一切是多么简单，多么符合逻辑，多么容易做的事情，但那时却完全不是这么一回事。1958年10月1日，普惠加拿大公司小组成员到哈特福德，向“大普惠”总工程师莱特·帕金斯介绍情况。哈特福德的一个“红队”也完成了一个设计。帕金斯审查了两套设计，同意实施普惠加拿大公司的设计。但历时5年，发动机才真正生产面世，一路走来做了大量的艰苦工作。

普惠加拿大公司老员工艾伦·纽兰后来回忆，普惠加拿大公司团队毫无经验这一点暴露无遗：“作为一个团队，我们没有历史，没有经验。这与有长期设计历史的成熟公司相比大为不同。然而，没经验也有好的一面。我们没有条条框框的约束，我们也没有过去成败的包袱。”

1960年2月，安装螺旋桨的完整PT6进行了试验，但是，出现很多技术问题，成本也随之飙升。帕金斯在东哈特福德密切注视着这一项目并做出判断：“你们的工程师非常聪明，但是没有经验，不懂发动机研制。”所有公司高层人员的高级别会议最终决定成立攻关小组。1961年初，PT6的技术指导由令人敬畏的布鲁斯·托里尔领导的“大普惠”6人小组接管。托里尔是加拿大温尼伯本地人。他在发动机行业多年，并在加拿大国家研究中心任职，还在英国弗兰克·惠特尔勋爵的动力喷气公司工作过一段时间，1946年加盟“大普惠”。

“他因半夜来到工厂，穿着睡衣，外面套着雨衣，而广为人们所知。”

埃尔维·史密斯就此事做了总结：“我们从布鲁斯·托里尔那里学到了如何研制发动机。”不仅是监工，托里尔还亲自以铁腕手段推进该计划，废除一班制，每天24h连轴转进行试验。里克·斯丹姆是参加该发动机研制的人员之一，他回忆道：“只要他进城，每时每刻都能在工厂找到他。他因有一次半夜来到工厂，穿着睡衣，外面套着雨衣，而广为人们所知。”

如果说托里尔造出了PT6，也可以说PT6在某种意义上造就了布鲁斯·托里尔。他1971年就任普惠公司总裁。[2]

升空

到1961年夏，PT6已安装在加拿大皇家空军的比奇“远征队员”飞机上飞行。该发动机装在飞机机头，位于两台普惠活塞发动机之间。据说那时当空管员看到试飞员驾驶飞机上升到26000ft时非常吃惊，因为这种飞机的设计单靠活塞发动机是不可能这样飞行的。

单靠PT6飞行的第一架飞机实际是直升机，希勒Ten99原型机，时间是1961年7月。皮亚塞茨基、洛克希德和卡曼这一时期都在各种原型机上使用PT6发动机。还有将德哈维兰使用活塞发动机的“水獭”和“海狸”换成PT6发动机的项目。虽然PT6技术上大获成功，但多数小型丛林空运公司付不起改装PT6的费用。

PT6的重大突破来自比奇公司。这家总部在威奇托的公司长期以来使用“黄蜂”和“小黄蜂”发动机，现在正谨慎地为陆军新的联络飞机寻找涡轮发动机，代替“空中女王”飞机使用的活塞发动机。其原型机为NU-8F，1963年5月首飞。[3] 陆军的试验进行顺利。而后，比奇公司改进了飞机，将使用活塞发动机的“空中女王”改装成使用涡轮发动机的“空中国王”。这一标志性飞机1964年1月20日首次飞行，恰逢比奇18首飞28周年。但是这种飞机卖得出去吗？这一年秋天，第四架“空中国王”到欧洲飞行表演进行推销，3个星期内27架飞机卖给诸如大众汽车和戴姆勒-奔驰这样的公司。甚至阿贾·汗还买了一架。从此PT6销路大开。

下一个重大突破是德哈维兰决定制造装配涡轮发动机的“双水獭”飞机。这是全世界一款绝妙的通用飞机，也可以被看作首款支线飞机。德哈维兰要制造800多架“双水獭”。PT6在装上美国海军比奇T-34上之后成为军用初级教练机的首选发动机。那些年，令人沮丧的一个是“抗暴动作战”计划。康威尔为其48型“军马”飞机选择PT6，但北美公司OV-10”野马”赢得竞争，该飞机使用空气实验室的盖瑞特TPE331发动机。盖瑞特（现在的霍尼韦尔公司）曾经是、并且依然是普惠加拿大公司的竞争对手。

PT6还帮助普惠公司开展了一项全新业务：辅助动力装置。与汉密尔顿标准公司合作，PT6被改装用作洛克希德L-1011的辅助动力装置。这种小发动机看来应用范围很广，可用于舰船动力、工业燃气轮机，还为不列颠哥伦比亚省政府的大型扫雪车提供动力。这种动力装置甚至用来牵引火车，这种“涡轮火车”是试验型高速火车，由联合飞机公司的系统中心研制。该中心把分公司的各种技术融合在一起，而过去各分公司通常大都独立工作。西科斯基与普惠加拿大公司研

制“涡轮火车”，使用ST6B工业燃气轮机，时速达170mile。1968—1982年，试验火车在美国和加拿大之间运行，但没能成为柴电机车的替代而被推广。部分问题是路基承受不了火车运行的速度。但是，ST6现在又返回铁路业务，牵引新型高速列车。这次，时间将证明这一努力是否能戴上胜利的桂冠。

赛车手的优势

一定年龄的人们可能还记得20世纪60年代油料添加剂STP的电视广告，广告中有身穿军大衣的公司总裁安迪·格拉纳泰利的形象和其所使用的名言“赛车手的优势”。几年来，格拉纳泰利把赞助“印第安纳波利斯500车队”作为其公司的促销手段。1967年，他与普惠加拿大公司联合，把PT6用作“印第赛车”的发动机，这是任何普惠发动机中最不寻常的应用之一。



普惠加拿大公司的波音**720**试飞平台**20**多年来在各种发动机的研制和取证中发挥了关键作用，包括图中所示**PW150A**涡桨发动机。

与传统的奥芬豪瑟发动机赛车的低沉呼啸声相比，STP广告赛车几乎没有噪声，嗖嗖地飞驰在赛车跑道上，观众被震惊得瞠目结舌。因此这种赛车马上得到“嗖嗖车”绰号。赛事赞助方美国汽车俱乐部（USAC）试图撵走STP赛车，规定赛车要使用其赞助方的产品。结果证明STP是PT6燃料泵的绝佳润滑剂。该赛车在车手帕内利·琼斯稳健的操控之下看来要赢得该赛事的第一个492mile赛段。然而，减速器

内的一个6美元轴承发生故障，赛车速度下降最后停下。1968年，格拉纳泰利开着装配5台涡轮发动机的赛车杀回赛场。美国汽车俱乐部又一次发起攻击，限制进气道尺寸不得超过16in2，而PT6需要22in2。普惠加拿大公司现场人员改装发动机满足要求。3辆车达到“印第安纳波利斯500车队”的资格，但是与生产型PT6无关的小机械故障致使他们错失赢得比赛的良机。美国汽车俱乐部而后颁布更加严格的进气道规定，涡轮发动机赛车永远离开了赛场。但是，安迪·格拉纳泰利酷爱PT6，还专门用一台PT6 改装了他的克尔维特跑车。

如今，PT6势头仍然强劲，在130多种固定翼飞机和直升机上获得认证，而且看来其一直都能找到新的应用，诸如改进的“空中国王”以及索卡塔TBM850。共制造35000多台涡桨发动机和8000多台单机组和双机组涡轴发动机。全球6000多个用户的涡桨和涡轴发动机总工作时间逾3亿小时。

普惠加拿大公司最终成为制造厂家以及航空界最受崇敬的服务公司之一。“大普惠”的工程师们开玩笑地说，与东哈特福德的庞然大物相比，普惠加拿大公司的小发动机可以夹在腋下，而这些小发动机就是普惠加拿大公司人员立业的基础。

从涡桨到涡扇

普惠加拿大公司取得了它所渴望的成功，但是并不想成为单一产品公司。隆格伊的普惠加拿大公司的人们再一次调查市场，寻找新的市场切入点。这次机会还是来自威奇托。赛斯纳公司的业务输给了邻居比奇公司，因为“空中国王”显然比活塞式公务机卓越。但是很多客户并不愿意直接换成昂贵的喷气飞机。赛斯纳公司提出了简单而成本相对低的涡扇发动机飞机，飞行速度可达400mile/h。无后掠角式机翼的设计操纵简便，活塞式飞机驾驶员改飞这种飞机也很容易。

赛斯纳公司了解普惠公司既能设计又能制造发动机的发家历史，因此询问普惠公司可以做什么。1966年6月，开始了后来成为JT15D发动机的详细设计，这是一种推力为2000lbf的涡扇发动机。该发动机有一个单级离心压气机，是普惠加拿大公司非常熟悉的技术。涡轮重新设计，从一级改为两级，以减小发动机直径，适于赛斯纳设计的FanJet500的安装。研制进展顺利，1968年9月，赛斯纳公司为现在叫做“奖状”的飞机订购了50台JT15D发动机。普惠加拿大公司又一次成为赢家。JT15D自1971年投入使用以来，不断升级和改进，推力已增加到3350lbf。除很多赛斯纳型号外，JT15D发动机还装上“比奇喷

气”400和T-1A“坚鸟鹰”。JT15D是普惠加拿大公司涡扇系列发动机的开门之作，它像PT6开创涡桨和涡轴系列发动机一样，大大扩展了普惠加拿大公司的业务范围，普惠加拿大公司再也不是单一产品的公司了。

更大而且更好

随着20世纪70年代的进展，普惠加拿大公司开始审视比PT6大的、功率为1500～2500hp涡桨发动机的新市场。支线飞机市场开始发展，公司已经增加了PT6的马力，以适合新的飞机使用，例如，肖茨330和德哈维兰“冲”7等。

1978年，美国对航空公司解除行业管制。此时支线市场真正起飞，支线航空公司可以飞60客座飞机，而不只是使用装配PT6的30客座“双水獭”和比奇99。此外，1981年前后，PT6和JT15D所占据的一大块公务机市场急剧下滑。这就使普惠加拿大公司更想要做好支线飞机市场。

在此期间，普惠加拿大公司采用了随后在公司广为流行的发动机研制方法，技术验证发动机（TDE）。TDE的思路是制造一种样机发动机，该样机发动机恰好填补市场空白，而这正是公司希望以尽可能快的速度和尽可能低的成本进入空白市场的途径。发动机不必准确无误，只要能确实解决技术问题就行。“概念验证”发动机加速了最终产品的研制速度并降低了成本。1978年，普惠加拿大公司开始TDE-1的运转。1979年，这个学习过程开启了第一款PW100型涡扇发动机的全尺寸研制。其竞争对手是改进的罗·罗“飞镖”，其虽可靠，但在当时是非常老的发动机，还有通用电气公司的CT7。普惠加拿大公司几乎同时在原来的研制基础上，就开始了发展较大型号的发动机工作以击败对手。

随着发动机研制的进展，已出现几个候选飞机可装配。很多公司正在进入支线市场。在与这些公司的接触中，普惠加拿大公司的工程师们得出结论，他们应该把功率增加到1800～2600hp以满足不同的要求。普惠加拿大公司还与汉密尔顿标准公司合作完成新一代支线飞机的复合材料螺旋桨的工作。以对市场的理解和仔细的工程工作，普惠加拿大公司又一次制造出了可靠的产品。涡轮机的设计寿命是30000个循环（起飞、巡航到着陆为一个循环）。该发动机只有6个转动组件，为三轴双转子布局。从PT6和JT15D获得的经验对自由涡轮PW100的设计大有裨益。发动机单元体可以混合搭配，为各种应用

提供不同的功率，而且还有增长空间。实际上，今天的PW150可以产生5000hp功率。

新涡桨发动机成功的另一个因素是普惠加拿大公司在支线航空公司和飞机公司中的好声誉。PT6向他们展示了隆格伊的普惠加拿大公司的人们理解客户的需要并给以很好的支援。1979年，巴西航空工业为EMB-120支线飞机选用PW100。德哈维兰为“冲”8，福克为F-50和F-60，英国宇航为“先进涡桨”（ATP）都选用PW100发动机。另一个重大胜利是为法国-意大利的ATR42，以及增长型ATR72提供发动机。通用电气公司得到西班牙航空制造有限公司（CASA）的CN235和瑞典的萨伯350。但到20世纪80年代，普惠加拿大公司在支线涡桨领域处于明显的领先地位。

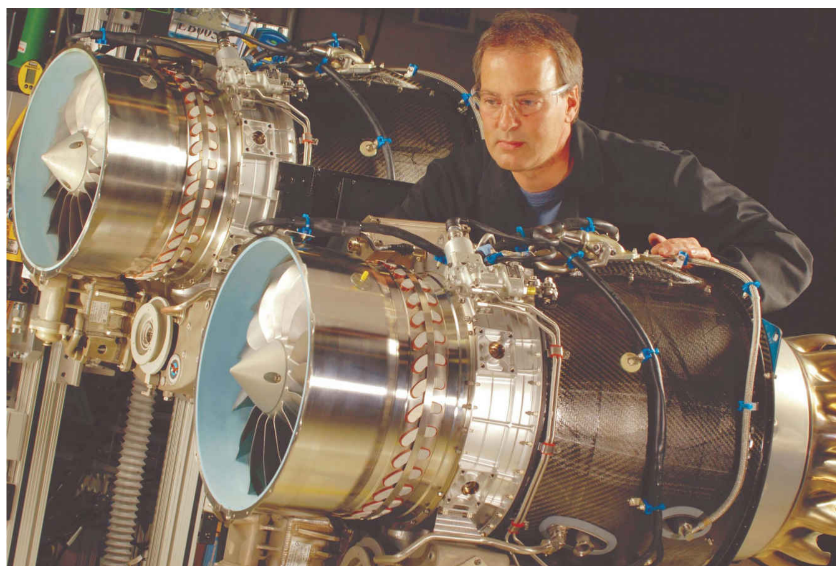
但领导地位很快就要遇到支线喷气机出现的巨大挑战。20世纪80年代末，到处都说需要更大更快的支线飞机，甚至说支线航空公司需要涡扇发动机飞机。普惠加拿大公司持怀疑态度，因为这样的飞机会很大而且贵，它们会失去涡桨发动机的燃油效率。但是支线市场正在迅猛发展，更大的飞机出现了。艾利逊公司不久将成为罗·罗公司的一部分，开始生产全新系列的发动机，AE2100涡桨发动机和AE3007涡扇发动机。通用电气公司研制了CF34涡扇发动机。普惠加拿大公司实际没有可匹配的发动机。看来普惠加拿大公司要坐的船仍然停在船坞里。然而，答复是大大改进的PW100，即PW150，它成了“冲”8-Q400的动力装置。你瞧，刚进入21世纪不久，涡桨发动机市场又开始卷土重来。燃油价格开始飙升，涡桨发动机又将大有吸引力。2000架飞机上装配6100台PW100系列发动机在运营，看来他们还有很长的路要走。

普惠加拿大公司正在为新的PW800系列发动机技术做家庭作业。这种涡扇发动机推力为10000～20000lbf。公司已经对技术验证发动机进行了运转，显示PW800的设计将大大提高燃油效率并降低噪声。该发动机弥补了推力5000～6000lbf的PW300系列和东哈特福德“大普惠”用于空客A318的20000lbf推力的PW6000之间的空白。该款发动机瞄准新的支线飞机和大型商务喷气机。

很多发动机，真的很多

凭借成功的系列发动机计划建立起来的信心和技术，普惠加拿大公司以更新的系列发动机又开始起跑，奋力向前。新一代轻型双发直升机诸如贝尔429、阿古斯塔“宏伟”和西科斯基S-76D之后，出现

PW200涡轴系列发动机，这建立在PT6市场成功的基础之上。接着JT15D还出现两个新的涡扇系列发动机。PW300是下一步，推力是4500~8000lbf。PW500系列推力从2700~4500lbf。赛斯纳公司在各种衍生型号“奖状”飞机上使用这种发动机。巴西航空工业为飞鸿300商务喷气机选用PW500。PW900系列辅助动力装置用于波音747-400和空客A380上。



PW600系列发动机**2003**年发起、引领超轻型喷气机市场。

随着21世纪的大幕已经拉开，人们最迫切要看到的研制是用于超轻型喷气机（VLJ）市场的PW600系列发动机。超轻型喷气机迫使普惠加拿大公司考虑用全新的方式设计和制造发动机。新飞机要廉价，可一名飞行员驾驶，操纵容易，便于维护。关于制造方面，数量会很惊人，每年1000多台发动机，是自二战以来所罕见的产量。特别是如果“空中的士”市场的发展如很多企业家所展望的那样，制造商所预测的超轻型喷气机数量将有几千架。如果整个概念得以实施，发动机制造商将必须以非常低的成本，用从未有过的速度制造产品。“跃升式改变”这句名言成为隆格伊普惠加拿大公司人们的口头禅。

但是普惠加拿大公司首先必须拿出一种发动机。1999年，普惠加拿大公司实行其技术验证发动机的“试真制度”，由此诞生了PW600系列，最终推出3个型号，推力为900~3000lbf，发动机重量约300lb。《机械工程》杂志编辑艾伦·布朗在2007年的文章中发表看法：“你可以走进任何一个体育馆，找10来个人，不论男女，他们都可以操作、

制造一台发动机。”

PW600按一系列单元体进行模块化制造，每个单元体都可以单独试验、维护和拆装。这种坚固的小发动机比PW500减少大约50%的部件，同样注重成本和可维修性。开始，普惠加拿大公司好像在新兴的超轻型市场有点落后。威廉斯确实是超轻型喷气发动机的先驱，这源自其巡航导弹发动机的研制。但是威廉斯发动机没有满足首款超轻型喷气机的要求。尽管普惠加拿大公司在隆格伊仍在研制一个生产型号，但因为它的技术验证发动机计划进展非常成功，所以投入市场时风险最低。普惠加拿大公司赢得赛斯纳“野马”、“日蚀”500和巴西航空工业公司飞鸿100，保证了普惠加拿大公司在这个市场的极其稳固的地位。在写这本书时出现的更加诡计多端的竞争对手之一是本田飞机公司“本田喷气”，本田飞机公司正在与通用电气公司联手研制发动机。

普惠加拿大公司赢得生意，但是将怎样制造所有这些价格相对低廉的小发动机呢？此时，联合技术公司采用了称作“获取竞争优势”（ACE）的管理方法。这种管理方法源自最优秀的精益制造原则。这些原则以日本工程制造为代表，包括“丰田”法。对于PW600来说，普惠加拿大公司广泛使用了ACE原则，特别是3P，即生产准备程序。

在接受《航空维修》杂志采访时，客户支援副总裁玛丽亚·德拉·珀斯塔把这一新思维方式描述为“未来”管理程序，思考并规划对客户来说哪些是最好的体验。她说：“关于在客户环境中应该如何思考的问题，我们要丢掉传统观点。”

随着产量的增加，把目标定在每8h完成一台发动机的组装和试验。相比之下，在加拿大边界以南的大发动机则需要几天。普惠加拿大公司和超轻型喷气机的制造商们正在思考行业是如何制造的问题。当然，普惠加拿大公司对全新市场的创新性和创造性做法正在帮助整个普惠公司做好准备，迎接未来80年乃至更长时间的挑战。

---

[1] 对普惠加拿大公司更详细历史感兴趣的人，本作者推荐多伦多加拿大CANAV书局1989年版，肯尼斯·沙利文和赖瑞·米尔布里合著的《动力：普惠加拿大公司史话》，这本书也是本作者珍贵的资料来源。

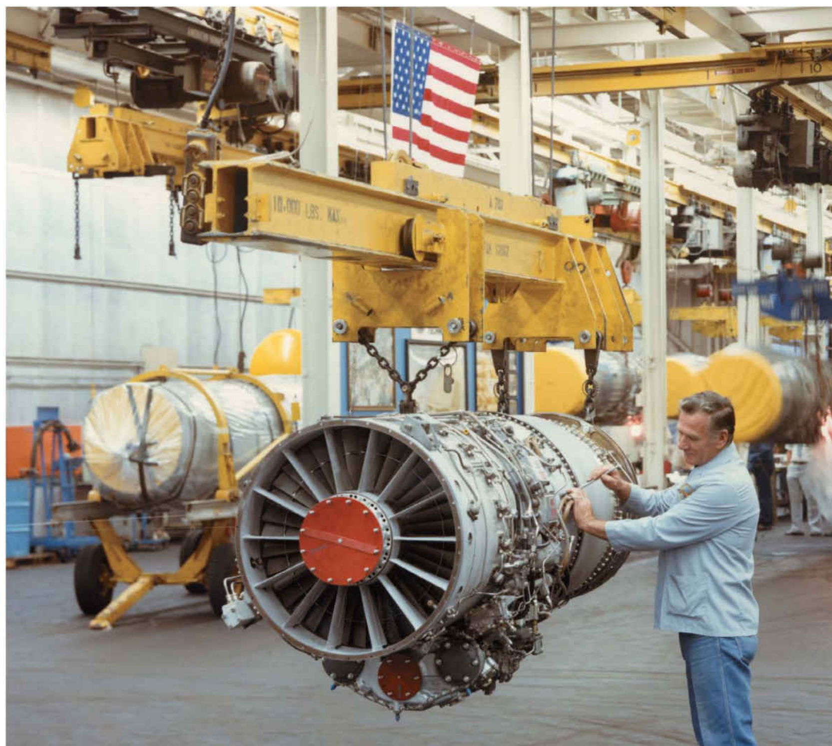
[2] 1959—1975年，任普惠加拿大公司总裁的索尔·史蒂芬森（Thor Stephenson）后来说，PT6几乎夭折，“PT6计划在早期无论从技术上还是销售方面都不令人看好。所以，普惠加拿大公司创始人詹姆士·扬与他的董事会好朋友休伯特·韦尔斯福德（Hubert Welsford）到哈特福德去见UAC董事长‘杰克’·霍纳。他们要求终止PT6，把普惠加拿大公司改成销售和服务公司。霍纳拒绝了他们的请求，PT6继续研发。”

[3] 公司的传说是，这架飞机差不多比计划提前一天飞行。在地面高速试车时，按故事所说，飞机撞到跑道上一个凸起而升空飞了一会儿。

第8章 伟大的发动机与发动机大战

普惠公司因在20世纪50年代使用J57/J75发动机为战斗机提供动力而取得巨大成功，但其主要对手通用电气公司用J79也成了赢家。J79用于F-4“鬼怪”战斗机，它是美国空军、海军和海军陆战队的主战飞机，并且占有着巨大的国际市场份额。

20世纪50年代末，普惠公司的传统客户 [1] ——美国海军，需要为称作“导弹手”的项目提供一种新发动机，这为普惠提供了机会。这是一种用于航空母舰防空的高空飞机。人们的想法是“导弹手”在离开航母战斗群的上空指定空域巡逻飞行，并携带先进的远程导弹打击进犯的敌机以保护航母战斗群。



J52在后来几十年是主战军用发动机。

普惠公司用JTF10赢得该机发动机竞争，其军方叫法是TF30。这

是普惠公司从来没有做过的首款涡扇加力发动机。风扇和核心机的排气在加力燃烧室混合。这为后来的战斗机用发动机确定了模式。这样，就可以用相对较小的核心机制造发动机，以减少重量、阻力和涵道比（TF30的涵道比为1.1：1），但仍在加力时产生很大推力。这种涡扇发动机比J57/J75传统涡喷发动机提高约25%的燃油率。加力燃烧室可以通过油门杆控制，飞行员可以调节推力，能把11350lbf到13400lbf的标准额定推力增加70%。后来的型号TF30在加力状态下推力可高达25100lbf。

当然，“导弹手”项目从未实现。1961年，新上任的国防部长罗伯特·麦克纳马拉要空军和海军联合搞一个单一的通用计划，“战术战斗机试验”（TFX）。无论军队还是任何潜在承包商对这种想法都不热心，他们认为不可能“一机多用”。一种飞机不可能既用作陆基战斗机，又用作舰载战斗机，还用作具有核能力的阻滞轰炸机。但是，TXF成了下一个重大计划。麦克纳马拉决心要五角大楼以此作为采购工作大范围改革的样板。1962年，通过接触沟通，出现两个型号，通用动力公司的空军方案F-111和格鲁门公司的海军方案F-111B。普惠公司用TF30赢得竞争，为两种方案提供发动机，要求各个团队用25个月的时间将飞机投产。

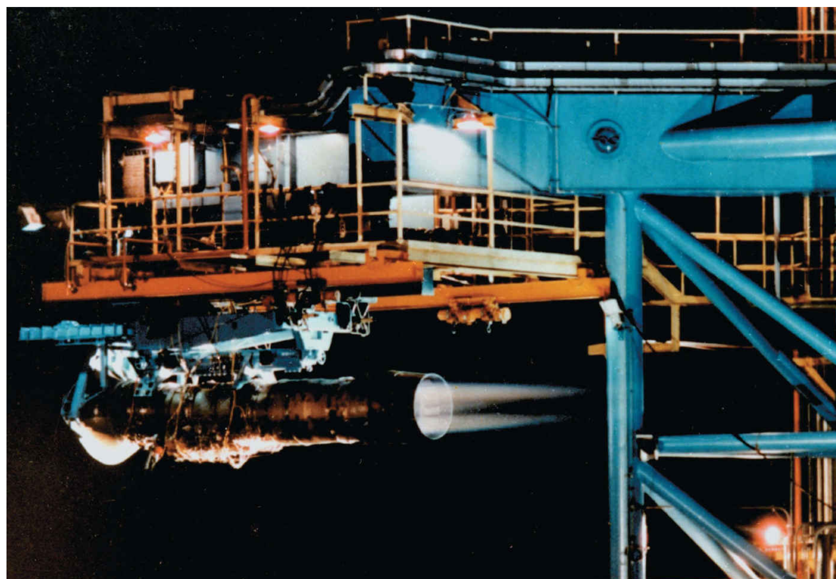
时间极端紧迫，要求异常严格。空军需要机身结构比较重而结实，因为F-111执行超低空飞行的阻滞任务，而海军通常希望舰载机要轻得多。但是F-111B与F-111一样越来越重。这就意味对进行TF30工作的人是真正的挑战。性能方面的问题围绕着重量，还围绕着陆基飞机与舰载飞机之间相互矛盾的要求打转转。

整个TFX/F-111计划在国会山、在五角大楼以及在承包商（如普惠公司）的办公室变得极具争议，因此而争吵不休。这里不打算讲述整个故事的细节。不用多说，普惠必须抓紧时间把发动机的事情做好，经过不断更改，最终达到了要求。但是海军的F-111B没有搞出来。舰载机飞行员放弃了该计划，因为他们认为他们拿不到合适的飞机。海军将在格鲁门用VFX计划走自己的路。F-111/TF30将与美国空军一起继续漫长的路程，而只从皇家澳大利亚空军退役。不带加力的TF30还用在海军A-7飞机上，直到1986年，该发动机的生产持续了22年。

空中格斗战法再度上演

20世纪60年代转眼进入70年代，美国军事航空对自己的定位进

行了重新评估。越南战争期间，美国空军和海军的战术使空中格斗战法走下坡路，这一点变得越来越明显。在越南，美军与越南民主共和国（又称北越）飞机战损比例是1：2.5，在朝鲜，该比例是1：12。



TF30喷出的火焰照亮了佛罗里达的夜晚。

批评者指出，主战飞机F-4原来连空空航炮都没有。F-4以及像F-105“雷公”那样的飞机，个个无比超群，但是未来可能无用武之地且不再需要。苏联的新飞机，诸如米格-23“鞭打者”和米格-25“狐蝠”将大量生产，而且的确令人生畏。美国空军和海军都正在寻找能够在空中优势战斗中绝对获胜的飞机。空军的FX计划结果产生了F-15，而海军放弃F-111B后的VFX计划则诞生了F-14。1970年，经过与通用电气公司的激烈竞争，普惠公司赢得为新一代超高性能战斗机配备发动机的合同。空军命名其发动机为F100，海军为节省费用同意使用衍生型，取名F401。

该计划无论怎样看都变得异常艰难。军方要求发动机性能接近、甚至超过从来没有达到的极致。推重比要达到从未听说过的8：1，而当时最大为4：1。25000lbf推力级的F100重量约为3000lb，相比之下，推力为17300lbf的J79的重量超过3800lb。普惠公司开始研究新材料以完成这些任务，使用了以前从未使用过的大量钛合金和镍含量高的合金。涡轮需要定向凝固材料叶片。研制计划困难重重。部件故障频频发生，一次次重新设计，反反复复进行试验，竭尽全力排除故

障。五角大楼忧心忡忡，因为随着越战以痛苦的收场而结束，其声誉扫地，预算紧缩。新的F-15时间非常紧迫。空军需要飞机来对付已经部署的“鞭打者”和“狐蝠”飞机的威胁。

> 毫无疑问，F—15和F—16是世界上性能最好的战斗机中的两种……

在海军航空兵预算日益紧缩的情况下，经过一些初试失败后，海军砍掉了F401计划。海军的F-14即将成功，但预算吃紧没有发动机。较好的选择是使用现有最好的发动机，尽管这样做也不是完美的方案。虽然没有一个人（包括普惠的工程师们）认为选择普惠的TF30是一个理想的解决办法，但是海军还是选择了普惠TF30。即使TF30不如F100，它也是当时世界上最先进的战斗机发动机。

普惠团队尽其所能继续拼命工作，为的是把F100发动机装上空军双发F-15飞机，他们做到了。1974年，该发动机又赢得竞争，配备新的单发F-16战斗机。但是F-15服役后不久问题就出来了。部分原因是大大地扩展了F-15的飞行包线，并允许喜欢这款新飞机的飞行员用尽F100发动机的功率。1974年，F-15创8项世界纪录，并以垂直爬升中加速超过Ma1的能力而震惊航空界。

空军系统司令部司令奥尔顿·斯莱1979年在国会作证时高度赞扬这种飞机和发动机：

毫无疑问，F-15和F-16如果不是世界上两种性能最好的战斗机，也是世界上性能最好的战斗机中的两种。这一非常值得称颂的业绩在很大程度上应归功于F100发动机令人印象深刻的性能……毫无疑问，发动机的总体设计向前推进了现代技术。

在斯莱证词中有个“但是”。“该发动机达到了我们为它规定的推力、重量和耗油率三大关键性能参数的要求；但是，还没有满足我们对耐久性和维护简便的需要。”

在F-15初始构想中，人们认为，大部分飞行时间油门杆将长时间保持在相当固定的位置。但是随着对越南和苏联飞机的研究而获得的数据越来越多，任务的描述发生了变化。F-15的飞行员们逐渐习惯了这种新飞机的惊人能力，他们发现，F-15能够完成他们过去认为从来

不可能的动作。油门杆可以频繁移动，特别是发动机的“瞬间加速”能力突出，即发动机从飞行慢车状态迅速加速到最大军用加力功率,然后再回到慢车。

在很多情况下，飞行员们现在可以做原来飞机/发动机设计从未看到过的剧烈动作，结果导致压气机喘振/停滞，流过发动机的气流中断，推力急剧下降。同时这种先进发动机本来温度就高，此时更高。结果造成很多部件提前磨损，有时涡轮发生失效故障。在某些情况下，必须关闭发动机，然后重新点火起动。

按传统，当工程师们设计一款新发动机时，他们要检查发动机起动次数、起落次数、加力点火次数和大功率所占时间百分比等作为关键参数。使用1980年汽车工程师协会技术文件的枯燥语言，普惠公司对这一问题做出总结：

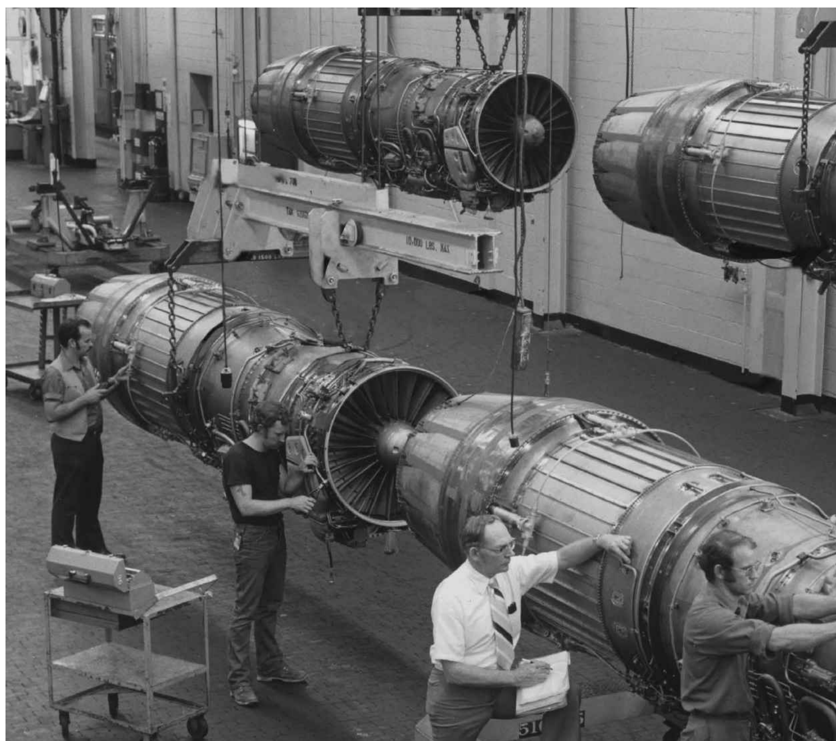
后来意识到，对最重要的占空比参数之一，即油门杆从低到高再到低调整功率的移动次数，没有做出规定。这些油门杆的瞬时移动对发动机寿命有重大影响。发动机工业那时没有完全认识到这一参数对发动机设计寿命的影响。F100发动机现在实际承受的负载和循环与原来设计要承受的负载和循环之间存在显著的差别。

根据斯莱将军的证词，空军原来估计典型的F100发动机每次飞行将经历1.5个热循环。结果F-15经历2.2个热循环，F-16经历3.1个。还是引用1980年该技术文件所述：“热循环累计数的增加加剧了热疲劳，相应地降低了涡轮单元体耐久性。”换句话说，涡轮磨损比预计的快。普惠公司及其供应商起初无法应对。F100得到“喘振阻滞”的坏名声。

这是普惠公司与美国空军关系最艰难的时期之一。双方在一大堆合同问题上的沟通变得极度紧张。一项部件改进计划解决了问题，但是国会并不满意。越南战争后对军界不满的怒气仍然十分强烈，还有各种具有轰动效应的天价军购新闻故事。关于寿命周期成本，与整个军界一样，空军也受到猛烈炮轰。可以公正地说，普惠公司陷入某种防御思维。普惠公司不仅仅静观事态发展，其与通用电气公司之间就谁为未来的F-16提供发动机的问题爆发了“发动机大战”。

通用电气公司当然也一直关注着所有这些事态的发展，在第一轮F-15/F-16发动机竞争失败后，通用电气公司从来没有放弃。通用电气公司为B-1轰炸机提供发动机，现在又要得到海军的F-18的发动机业务。事实表明，F101衍生型战斗机发动机在F-15和F-16上工作良好。围绕未来F-16的“发动机大战”出现了很多新闻故事、杂志文章、

国会证词，等等。指责和反指责累牍连篇。但是，最后的失败令普惠沮丧。1984年2月，五角大楼宣布在下一次军购中用现在称作通用电气F110的发动机装配120架F-16，而普惠公司只得到40架。雪上加霜，海军从来对TF30都不满意，1987年，决定把GE的F110衍生型作为F-14换发所使用的发动机。



F100代表发动机技术的一个突破。

20世纪80年代中叶的普惠总裁迪克·科尔言谈诚挚，简明扼要地总结了“发动机大战”的痛苦教训：“我们需要更加注意空军。我们的钱都来自客户。我们不印钞票，如果我们没让客户满意，我们就拿不到钱。”

已故通用电气公司航空发动机公司的领导布莱恩·罗可能是多年来普惠最强硬的竞争对手。他的2005年自传《飞行的动力》载有自己直言不讳的分析：“普惠助我们一臂之力，他们更热衷于封堵我们，而不是解决他们自己的问题。”

《邓氏商业月刊》事后载文援引一位匿名空军将军对“发动机大

战”的绝妙总结：“历史比哲学给人印象更深刻。我告诉你一点。下一次空军告诉承包商们一定要注意某些事情，他们一定会注意。事情就是这样。”

当时受到震惊的政府产品处人员后来当然予以注意。1990年，升任管理该处的比尔·米西莫在失利后给员工的信中说：“我们要为‘冲’220（F100-220，一种改进型号）制定新的精品标准。投产时不带一点问题，按时生产出质量高的产品。”公司做到了，赢回越来越多美国和国际客户的F-16市场。客户支援以及倾听意见为优先事项。F100成为美国空军装备中最安全最可靠的发动机。7000多台F100 在美国空军和22个其他国家空军服役，累计飞行2100多万小时。

米西莫总结了从“发动机大战”中吸取的教训：

我认为我们从一个没有应对个性的公司改变成一个有应对个性的公司。这并非只是一个改变，这个改变产生了大相径庭的结果。我们如何对客户做出反应是关键。我们还曾经抱有躲猫猫的想法，当遇到问题，还没有全部答案时，我们躲避不肯直面现实，不做解释。这是错误的做法。现在我们懂得，我们必须随时让客户知道全部实情。

尽管“发动机大战”令人失望，但F100计划给了普惠公司珍贵的教训，把普惠的技术大大向前推进，特别是在空气动力、材料、冷却和涂层等方面。还有一点，帮助公司学会如何在国际上生存和工作。

20世纪70年代的北大西洋公约组织（简称北约，NATO）战斗机计划，有时称作“世纪军品交易”，为挪威、丹麦、比利时和荷兰提供F-16。但是为了战胜通用动力，F-16承包商和普惠公司必须同意300多架飞机价值的40%将在合作伙伴国制造。西棕榈滩和东哈特福德的普惠人突然发现他们自己生活在布鲁塞尔，走遍整个北欧，去见伙伴公司，诸如国家制造公司、诺斯克喷气发动机公司、埃尔蒂姆公司等。自1925年以来普惠公司设计和制造了自己的所有产品，虽然他们有一个庞大的供应商集群。现在，普惠公司在美国之外有很多合作伙伴。这是将来增长和发展的模式。今天，普惠公司有一个遍布全球的国际风险共担合作伙伴和首选供应商网络。你可以把北约F-16计划看作普惠公司成为一个真正跨国公司的第一步。



使用两台**F100**发动机的第一架**F-15**起飞。
（波音照片，友情提供。）

如果挣扎着度过“发动机大战”的人们需要抚慰伤痛，1991年，时候到了。空军为先进战术战斗机即后来成为F-22的战斗机选择发动机。有人认为这次“发动机战争”普惠公司肯定失败。他们错了。普惠公司的F119获胜，此后几年之内，F119的衍生型发动机F135被选中，作为联合攻击战斗机F-35的主要发动机，就价值而言这是航空史上最大的军事计划了。

普惠的伙计们借用温斯顿·丘吉尔关于法国认为敦刻尔克大撤退之后英国坚持不了多久的评论。世界将预测通用电气公司会拧住“鹰”的脖子，像抓小鸡儿一样。抓住了某只小鸡儿！某个脖子！



F100装配F-16在世界22个国家的空军服役。
（洛克希德·马丁照片，友情提供。）

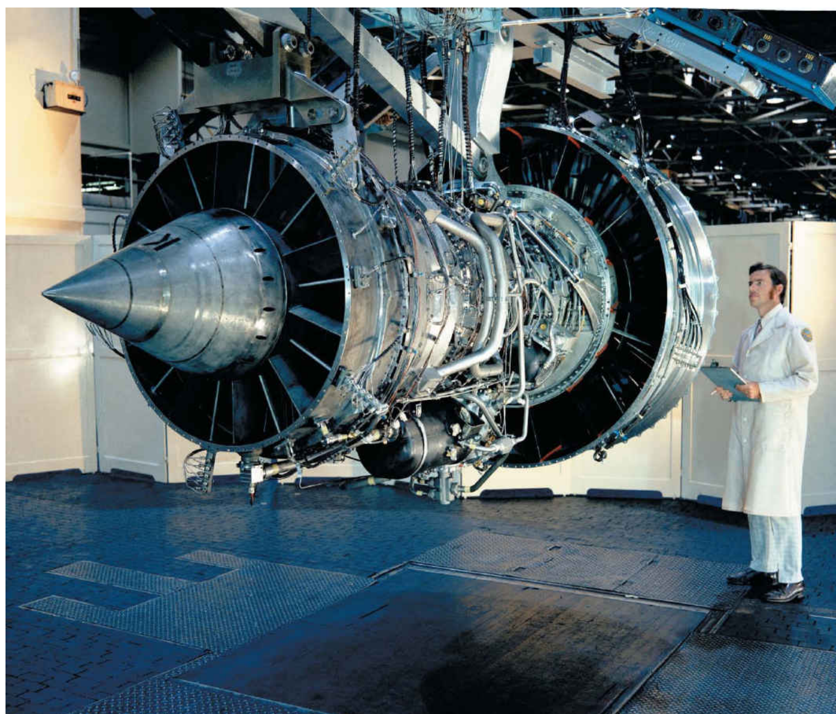
---

[1] 普惠很多年都被贴上“海军装配”的标签。海军采购官员会监督所有军事工作，无论谁是最终用户。这种由个别军种监造的做法随着“防务合同管理服务局（DCAS）”的建立而终止。该局人员来自各军种，着紫色套装，有时被称作“紫皮”。

第9章 新发动机，新挑战

随着20世纪70年代结束，20世纪80年代到来，普惠以JT3、JT4、JT8和JT9称霸商用发动机世界的局面正从根本上发生着改变。

自喷气航空开始，就有一个原则，每种飞机只有一个型号的发动机装机，普惠称霸整个市场。宽体飞机时代改变了这种局面，通用电气公司和罗·罗在DC-10、L-1011和波音747上赢得一席之地，最后在新的空客A300上安了家，接着是在图卢兹制造的飞机上，形成了三大巨头三足鼎立的局面。结果导致三大巨头之间的激烈价格竞争，而且一直持续至今。机队引进支援和大杀价的时代来到。三家之一时不时指责另两家挑起激烈的价格竞争，这大概是“先有鸡还是先有蛋”的争论，没有明确答案。总结起来就是：游戏规则变了。在大多数情况下，发动机公司初始销售是赔钱的，通过日后销售备件再把钱挣回来。正如流传的警句所言，喷气发动机是“世界上最大的剃刀”。



独一无二的JT10D发动机。

在1987年《航空周刊》采访中，时任普惠商用发动机运营总裁的拉里·克拉克森总结当时形势发展时所言："事后想一想，我们没有为DC-10、L-1011和空客A300提供发起发动机是个错误。"他说，"结果让我们的竞争对手在原本是普惠传统客户的航空公司中站稳了脚跟，还使波音公司受到巨大压力最终让我们竞争对手的发动机装上波音747。"

正如欧洲战斗机发动机项目中所提到的，另一变化是美国以外的公司开始在发动机项目中赢得较大份额。对于普惠公司来说，这种情况始于F100北约计划，然后是JT8D-200研制计划，其中，德国的MTU公司和瑞典的沃尔沃公司成为风险共担合作伙伴。他们对发动机研制进行投资，盈利时分享利润，有时投入运营后要等很多年才有收获。开始时这类合作伙伴关系规模较小，三大巨头之一与几个小公司合作。随着时间推移以及发动机研制进展，经济性要求变得更加严格，三大发动机公司之一要与另外一家相互合作。如果一个公司独自搞一个项目，还没等销售就要付出十几亿美元的研制费，直到巨额的备件销售出现才有利润。比较好的和更加耐用的发动机意味着老经验老办法，即发动机公司至少要出售3倍的发动机，即一台初始发动机和两台备用发动机，今后再也不适用了。

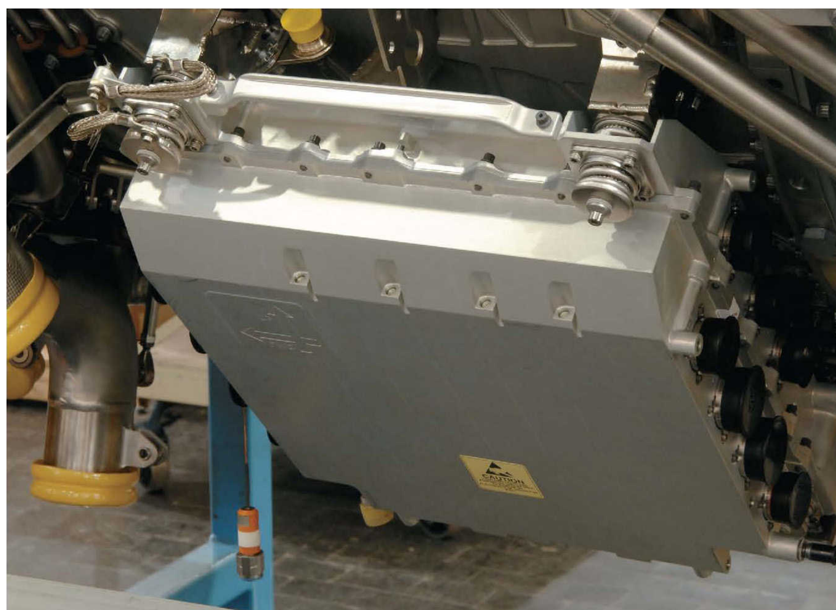
合作案例争相仿效，先是通用电气公司和法国斯奈克玛各占50%股份的合资企业CFMI。后来又有国际航空发动机公司，其中，普惠公司和罗·罗公司各占约1/3的权益，MTU、菲亚特和日本航空发动机公司分享剩下的1/3。通用电气公司和普惠公司组建了各占50%股份的发动机联盟公司，为空客A380研制发动机。罗·罗公司和通用电气公司组建联盟公司为联合攻击战斗机研制替代发动机。即使载有三大巨头之一的名牌发动机也有合作伙伴的大量份额。三大发动机公司在顺利进行这种新的商务和技术合作工作中都遇到某些困难，但是他们克服了困难，实现了顺利合作。这已经成为21世纪商用发动机业务的模式。

JT10D——独一无二的发动机

普惠公司首次试图组建真正的国际集团公司是20世纪70年代中期的JT10D计划。波音公司当时正在为20世纪80年代寻找新飞机来代替波音727，波音727在当时是历史上销售最好的喷气飞机。替代飞机可能是波音737，但那时波音737在某种程度上并非嫡系。普惠公司推出25000～35000lbf级别的发动机，取名JT10D，投入运营的额定推力为26000lbf。普惠公司占项目份额的83%，德国MTU占13%，意

大利菲亚特占4%。真正引起航空界议论的是1976年决定让罗·罗公司参加该计划并占有34%的股份。的确，普惠公司早在20世纪40年代就与罗·罗公司合作进行尼恩发动机计划，但那是严格的军用项目。这是两个对手第一次在重大的商用项目上联手。

但是到1977年5月，这一结合以普惠公司所说“自然与友好的决定”而结束，以便各自公司走自己的路。主要原因是波音计划的飞机越来越大，需要更大推力的发动机。原来的JT10D推力要增加到29000lbf，而不是25000lbf或26000lbf。这一推力非常接近罗·罗公司为宽体飞机研制的RB211的推力。罗·罗公司缩短了RB211的风扇，而得到RB211-535，推力为32000lbf。



PW2000是普惠首款新一代发动机。发动机电子控制装置（**FADEC**）将改变整个行业。

“罗·罗公司决定制造竞争发动机也就意味着他们不愿像原来那样参加JT10D计划。”普惠公司总裁布鲁斯·托里尔对《航空周刊》杂志说：“他们从合作伙伴变成竞争对手。我们对罗·罗公司没有敌意，人各有志。以后可能在什么时候我们又在一起合作。”

尽管两公司的感情有点受到伤害，但他们还是再度联手组建国际航空发动机公司，研制推力为25000lbf的V2500发动机。但是事情变得有点复杂。

普惠公司与罗·罗公司需要V2500，因为他们没有研制原来的JT10D [1] 。波音公司的新飞机即后来的波音757需要更大的推力。普惠公司的JT10D要改为PW2037，而罗·罗公司力推RB211-535。通用电气公司被排除在外。波音757将要登场，毕竟它将是波音727的下一代，这是个大卖点，而且随着美国对航空公司管制的解除以及干线—支线航空公司体系的发展，非嫡出的波音737进入市场，成为商用航空业最热门的飞机，直到今天仍然如此。波音公司要改进飞机，需要新发动机，其推力比装配原波音737的JT8D推力要大。普惠公司与罗·罗公司当时全力投入波音757，没有资源搞新型波音737。虽然事后看波音737的成功是必然的，但那时并非如此，因为对航空公司解除管制的效果不是十分明朗。

无论如何，波音决定制造737-300，使用曾为DC-8换发所用的发动机，叫CFM56，由CFMI制造，CFMI是通用电气公司和法国斯奈克玛公司的合资企业。斯奈克玛公司开始曾和普惠公司来往，实际上普惠公司一段时间持有斯奈克玛公司10%的所有权。但是他们从未进行实际的发动机合作。那时，斯奈克玛公司并不想与罗·罗公司扯上关系，主要是因为罗·罗公司为L-1011的罗·罗发动机麻烦缠身，基本破产。剩下的就是通用电气公司。两者在1971年开始合作，研制CFM56，几乎8年没有卖出一台发动机。第一次销售是为DC-8换发。然后波音公司找上门来，计划用该发动机为KC-135加油机换装发动机。为给波音737延寿，设计了波音737-300，CFM56将用作波音737-300的发动机。这又给CFMI一臂之力，恰逢空客公司为单通道A320飞机揭幕，而A320也是普惠公司和罗·罗公司的V2500所瞄准的飞机。

出于各种正确因素的考虑，20世纪70年代中叶做出发展更大推力发动机的决定对普惠公司乃至整个发动机行业意义深远。自此多年后，CFM56在所有大型发动机销售中占有半壁江山，超过JT8D，是历史上最成功的商用喷气发动机。

PW2037，能为自己思考的发动机

当波音7×7最后成为波音757时，不仅增加推力是一个问题，而且油耗也成为更加重要的问题。当初，喷气发动机受到欢迎是因为它的燃料是廉价的煤油衍生物，比活塞发动机使用的高辛烷值燃油便宜得多。20世纪70年代初，第一次石油危机改变了这一切。航空燃料成本上涨10倍，占航空公司运营成本的一半。

普惠公司决心把JT10D改为PW2037，该发动机将是从未制造过的油耗最低的发动机，比旧涡扇发动机油耗低30%，比竞争发动机RB211-535低7%。这必须采用突破性技术才能做到。这些技术在20世纪70年代大多处于试验阶段，只是有限地用于定型的JT9D-7系列发动机。

最大的变化之一是全权数字式发动机电子控制装置（FADEC）。今天，每一个制造商的每一台发动机都装有这种装置，但是当普惠公司与姊妹公司汉密尔顿标准公司合作把这种装置安装在PW2037上时，那是一个巨大的变化。此前，输送到发动机的燃油要通过齿轮、凸轮、弹簧、手柄等一系列液压机械装置与驾驶舱的油门杆相连进行控制。随着发动机推力越来越大，该控制装置就越来越复杂。原型JT9D的液力机械控制装置非常庞大，像发动机本身一样复杂。随着发动机需要提供越来越好的性能，这个装置却无法提供所需的精确控制。实际上，原型JT9D的一些问题归咎于这样一个事实：发动机控制无法做到发动机所需要的精准的瞬时调整。


PW2000是普惠首款新一代发动机。
其军用型F117用于C-17运输机。

其军用型**F117**用于**C-17**运输机。

FADEC是装在发动机上的像文件包大小的数字式计算机，能够以百万分之几秒的速度计算和调节。这种控制可以让飞行员调定油门后不用操纵，发动机就能根据情况的变化自动调节。FADEC还可以储存数据供以后读取和分析，以免情况恶化酿成重大维修问题，也可将机载飞行诊断系统的报警器和地面站直接实时连接。

FADEC还为另一个重大创新提供帮助，即主动间隙控制。电脑可以在几毫秒内决定把多少冷却空气送到发动机机匣周围的一系列管路中。随着机匣的热胀冷缩，主动间隙控制功能就使涡轮叶片和机匣之间的间隙控制在人的一两根头发丝大小，从而把各级涡轮周围的燃气泄漏控制在最小范围，这样就大大提高了效率。此外，涡轮叶片有可磨蚀的叶尖，这样它们在发动机机匣内被磨蚀而控制了间隙，也就限制了漏气。

计算机辅助设计的出现有助于制造受控扩散叶片。由于叶片的分离气流大大减少，空气流动效率提高。叶片更厚、更耐用。单晶涡轮叶片更耐久是因为它基本是一种金属晶体，没有传统设计的无数种金属晶体之间的微观边界线。更加坚固的盘件意味着发动机旋转速度比过去提高30%，因此发动机各级做功增加。与早期发动机相比，在推力相同的情况下，发动机级数和部件数就可大大减少。

对于采用很多新技术的PW2037发动机，研制计划进展顺利，1984年3月，在波音757上首飞。每当发动机首飞，对于为此倾尽心血的普惠人来说是一个特别的日子。在当时公司报纸文章中，PW2037项目工程师埃德·多纳休说出了目睹首飞的“造飞机的人”的心声：

我们目不转睛地盯着波音757飞机，看着它滑向跑道，接着起飞，这是多么激动人心的时刻。我们从一开始就与其发动机为伴，从设计到组装、到顺利通过所有地面试验，所以我们知道它能行。亲眼看见它装在飞机上飞向蓝天，那种感觉确实棒极了。

PW2037面对罗·罗RB211-535的强有力竞争，即使投入运营后对油耗要求的紧迫程度有所下降，仍然坚守住了自己的阵地。同过去的“黄蜂”发动机一样，PW2037不断改进，更加坚固耐用。

在某种意义上说，PW2037不仅在商业运营上，还在阿富汗、科索沃和伊拉克等地证明了自己的价值。1983年，美国空军选择40000lbf推力的该型号F117发动机用于新的C-17运输机。自1991年

服役以来，该飞机/发动机组合在某些非常艰苦的条件下一次又一次地证明自己，运送部队、坦克和卡车进入偏远地区，在未经整修的狭窄跑道起降。发动机的表现，再次引用伦奇勒的话，“像纯种猎犬一样”。

F117计划也是在特殊情况下完成的，基本上是一个商业交易。空军购买了现成的发动机，按商业条款仅仅做了微小改装，甚至发动机维修也是按照普惠公司和联合航空公司的方式完成的。[2]

PW2037与俄国航空工业的合作是普惠公司历史上比较奇妙的长期冒险历程之一。自20世纪40年代末，即使普惠人员和一个苏联人说句话，也要立即报告给内部安全部门。在国际航展上，总有从未证实的关于克格勃（KGB）收买间谍窃取装有敏感资料手提箱的故事。[3]

但是到20世纪80年代末，苏联的改革开放开始，尽管还只是一个开端。普惠公司高管鲍勃·罗萨迪两次带领国际航空发动机公司接触苏联工业界，特别是伊留申设计局。结果产生了IL96M计划。伊留申设计局实际上是将IL96机身截为两段，在中间增加一段而加长机身，改装霍尼韦尔驾驶舱，配备柯林斯航空电子设备，换装4台PW2037发动机。这是20世纪90年代初巴黎航展和其他国际航展上的一件大事，一些航空公司表示愿意把这种飞机用作货机。取证问题以及俄罗斯经济与航空工业的混乱状况使该项目从未真正开始，同样，与图波列夫的双发图-254所做的努力也无果而终。

下一个大家伙

PW2037的研制工作继续之时，普惠公司就对所有技术进行审查，研究下一步他们用这些技术做什么。JT9D进入了大涵道比涡扇发动机时代，在市场上表现不错。其最新型号JT9D-7R4在20世纪80年代初相当受欢迎。但是通用电气公司的CF6系列和罗·罗公司的RB211在不断逼近。JT9D推力已达56000lbf，再增加推力问题不少。该发动机的制造费用很高，而随着宽体飞机市场竞争达到白热化，这是一个必须考虑的问题。



94in风扇**PW4000**发动机比过去的大涵道比发动机在油耗方面有明显改善。

在1982年12月8日众多宣传中，联合技术公司董事长哈利·格雷和普惠公司高管们宣布，公司将研制PW4000，这是一种用于宽体飞机的全新的大推力发动机。

JT9D和PW4000项目领导人比尔·罗伯逊告诉《航空周刊》这一决定背后的想法："我们可以把JT9D的推力提高到60000lbf，但是必须为此延长发动机寿命，提高可靠性，并降低使用成本。因此我们决定，与其进行这么多更改，不如研制一种新发动机。"

普惠商用发动机业务领导人拉里·克拉克森1982年12月8日当天对听众说，10年来公司一直对新技术进行投资，其中大部分新技术在PW2037发动机上进行了试验。现在是把它装上宽体飞机的时候了。

"只有当你为发动机设计人员提供一张白纸，并告诉他们一切从头做起，才能从所有这些创新中得到最大的收益。"克拉克森说。

上面提及PW2037发动机的所有新技术，有些已经用于PW4000的设计。这将是第三代商用发动机。例如，发动机转速提升到10000r/min，比JT9D快2000r/min，从而使发动机级数减少，做功

却增加。结果高压压气机叶片减少了30%，高压涡轮叶片减少了50%。

上述优点以及燃油效率的提高降低了发动机成本以及航空公司的使用维修成本。成本是个大问题，这是普惠人以及通用电气公司和罗·罗公司等同行们铭记在心的主题。在激烈竞争的年代，在华尔街要求杰出财务绩效的年代，制造发动机的人们过去和现在每天都为降低发动机成本而绞尽脑汁。

对于PW4000，工程和制造以新的方式结合在一起，按普惠公司的说法，设计本就不应该“经过层层周折才辗转来到车间”。

PW4000项目领导人比尔·罗伯逊解释了争当低成本生产厂家的行为：“工程部门的任务是按成本进行设计，并与制造部门的人们拧成合力，而制造部门的人以成效比最高的方式制造发动机。”

PW4000工程经理吉姆·布鲁诺解释说，在第一张纸上画第一条线之前，就把制造部门和工程部门的人员拴在一起。

“在最初的日子里进行了很多集体攻关工作。”他说道，“我们把所有的东西都翻了个底朝天，对我们过去的设计和研制做法的每个方面都提出问题。我们集体为项目确立的格言是，‘老一套是不行的’。”

1984年末，PW4000获得首个订单，作为泛美航空公司为新的空客A310选用的发动机。回想起来，那是苦中有乐的时刻。泛美航空公司开始越洋运营先是使用了西科斯基公司的“飞剪”，后是波音公司的“同温层巡航者”，两种飞机都是安装普惠“主黄蜂”发动机。泛美航空公司曾是JT3D/波音707和JT9D/波音747的发起客户。而这将是泛美航空公司最后一个发起订单。到20世纪90年代初，普惠公司的拖车被派往纽约肯尼迪机场拉回发动机和部件，因为泛美航空公司走向破产，已经无钱购买这些发动机和部件。

PW4000投入运营时推力是56000lbf，几年之内，为某些飞机装机的取证推力达到62000lbf。PW4000在空客A300/A310系列、波音747和波音767以及麦道MD-11等飞机上安家。该发动机总是面对来自优秀的通用电气公司CF6-80C2和罗·罗RB211的激烈竞争。PW4000还被选定装配波音767，进入美国空军空中加油机的竞争。



泛美航空公司安装**PW400**发动机的“飞剪”飞机。

当1987年PW4000在巴黎航展投入运营时，每个人都认为，96in风扇、推力可以升到60000lbf以上的发动机大概就那么大。像航空界过去多次发生的一样，我们都忘记了天空确有尽头，可发展没有止境，还有更大的家伙在后面。

从JT10分手，以再次结合收场

虽然普惠公司与罗·罗公司在JT10项目上分道扬镳，但从20世纪70年代进入20世纪80年代，25000lbf推力发动机的需求仍在。波音737已翱翔蓝天，而空客正在研制A320以便与波音737抗衡。

普惠公司早在1979年就寻找研制推力小于PW2037发动机的途径。在1985年《埃克森世界》杂志访谈中，鲍勃·罗塞蒂，后来的国际航空发动机公司总裁解释道：“商业飞机型号繁多，但是只有3种发动机，像毛衣有大中小3个号一样。”普惠公司有大型发动机PW4000，中型发动机如PW2000，还需要有个小发动机。但是其财力和技术资源已经达到极限。“当我们接触小发动机时，”罗塞蒂回忆说：“发现需要大量投资并且与回报不成比例。但是我们确实需要整个产品线。因此出路是进行合作。”

罗·罗公司正面临相同的资源问题。在相同的访谈中，罗·罗公司领导人拉尔夫·罗宾斯勋爵描述他的公司如何与日本人合作开发25000lbf推力的发动机RB432。“我们把日本人拉进来，合作了约4年时间，之后决定需要更大范围的合作。”

是谁首先提出这次新的合作？“要绝对准确地说谁先向谁开口，何时开始该项目，我不记得啦，但合作就成了。”罗宾斯说。鲍勃·罗塞蒂回忆，他们花了几年时间的研究与谈判，事情才开始进展。

1983年3月，7家公司签订了合作协议，创立了国际航空发动机公司（IAE），制造V2500系列发动机。罗·罗公司和普惠公司各持有30%的股份，德国的MTU、意大利的菲亚特（后来撤出伙伴关系但仍是供应商）和日本航空发动机公司（JAEC）持有剩余的股份。JAEC本身是由三菱、川崎和石川岛播磨组成的集团。

“我们从各公司请来27名工程师，把他们关在房子里，并告诉他们将问题搞定。”

普惠公司负责研制扩散器、燃烧室和高压涡轮；罗·罗公司负责高压压气机；MTU负责低压涡轮；JAEC负责风扇和低压压气机；菲亚特负责涡轮排气机匣和齿轮箱。这个新的协同工作组织几乎是一个“虚拟”公司，只有170名员工，都由各伙伴公司派遣。国际航空发动机公司总部在康涅狄格州普惠公司总部隔壁，由校舍改建而成。从没有人尝试过由遍布世界各地这么多伙伴进行合作。鲍勃·罗塞蒂称之为“国际合作的里程碑”。很多人则不怎么看好。这些文化和国度迥然不同的公司如何能够合作？

在第一批面试的100人中，罗塞蒂只选中了16人。他要这些人成为IAE的人，而不是罗·罗、普惠、MTU、菲亚特或JAEC的人。像航空界历史上很多次所表现的一样，人们的激情战胜了他们的名牌，他们确实是IAE人。

“例如，开始就发动机将是什么类型我们存在巨大争议，”罗塞蒂在1985年的文章中回忆道：

我们从各公司共请来27名工程师，把他们关在房子里，并让他们将问题搞定。没出3天，除了说话的口音，你已分不清谁来自罗·罗公

司，谁来自普惠公司。他们都投入到工作之中。罗·罗的小伙子们开口即说："这些普惠人对他们所言确实精通。"而普惠的小伙子们所言必称："这些罗·罗的小伙子们的确聪明过人。"

前进道路上并非没有磕磕绊绊，实际上有些困难还相当大。无数零部件得从7个伙伴公司和几十家供应商运到美国康涅狄格州和英国达比的罗·罗公司，组装成能工作的发动机。高压压气机出了问题以致进行了重大的重新设计，低压压气机由一级改为三级以减轻高压10级的做功负荷。这个问题和其他工作致使合作伙伴们把总体工程责任交给普惠公司。这种机构的改变是为了提高效率，加强重点，而不是要每个伙伴都各自经管一个独立完整的V2500工程机构。

1989年5月，V2500投入运营。V2500与率先装机的CFM56在A320飞机的竞争中直接交锋，并在A320飞机家族取得明显成功。V2500还用作麦道MD-90的动力装置。共销售5000台V2500发动机，价值300多亿美元。



V2500是国际合作的一个成功案例。

由于国际航空发动机公司忙于解决压气机研制问题，为基本发动机投入运营进行取证，所以为空客A340制造"超级风扇"型发动机的计划一直未果。尽管其合作伙伴投入了多年的努力，却从未在波音737上赢得一席之地，这主要是由于为热销的波音737飞机研制和认证另一款发动机所需资金数额巨大。但是我们应该着眼未来，因为齿轮传动风扇发动机以及将这种发动机装上每一架150座客机的想法从未破

灭。

---

[1] 仅有的一台JT10D，陈列在东哈特福德普惠公司博物馆。

[2] 关于PW2037这里有一些有趣花絮：现在很少有人知道，曾有人建议把三发波音727改造成装两台PW2037的波音727；还有，几次有人提出，用4台PW2037发动机换掉B-52的8台发动机。

[3] 普惠公司有一个传统，当有外国代表来访时，公司将升起来访外国代表团的国旗。那天，安全部门部长在场，当镰刀斧头第一次升起时，他低语：“我从没想过会活着看到今天。”

第10章 战斗机发动机与大型双发飞机发动机大赛

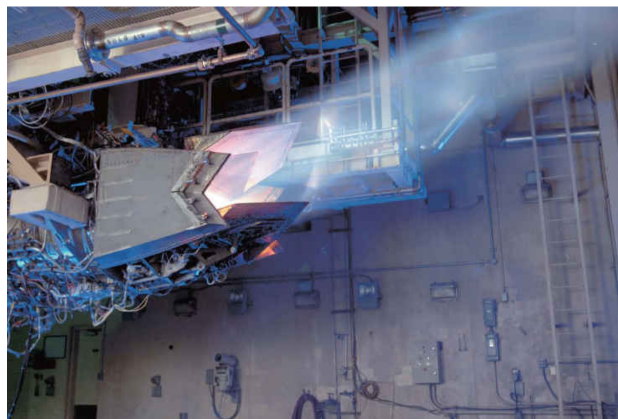
普惠公司军用和商用发动机业务面临的市场环境与以往大不相同。20世纪50年代，随着美国空军进入喷气时代，公司能够为J57/J75系列发动机找到很多装机应用。经常有新的飞机项目推出，如果普惠公司错过一个，紧接着还有下一个。有14种军机使用J57/J75发动机。相同的基本发动机在商用世界的波音707和DC-8飞机上运行顺利。但是到下一个军用发动机TF30，总共只在3种飞机上使用。F100只在两种飞机F-15和F-16上使用。美国军方20世纪80年代初仅关注一种高性能战斗机，先进战术战斗机（ATF），即后来的F-22。军方每20年才有一次大变化，所以必须抓住机会，否则，下次机会要等很长时间。

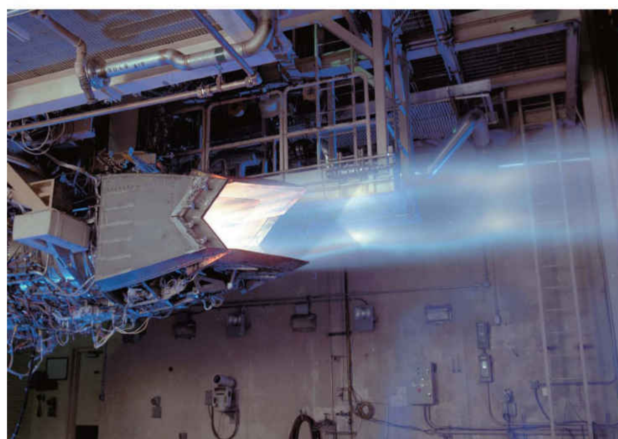
1983年末，普惠公司开始了又一个征程，承担可能是历史上最关键的军事项目。美国空军航空系统部门为联合先进战斗机发动机交给普惠公司一个2.02亿美元的初始研制合同。当然，通用电气公司也得到类似合同。这又是一次“发动机大战”。

对发动机的要求很苛刻。发动机应能在不带加力情况下进行超声速巡航（超级巡航）。为了进行极端机动，发动机必须具有推力换向能力。发动机目标显示特征不能影响飞机的隐身设计。发动机应具备这些和更多的功能，同时全寿命期成本优异，而且维护要够简便。具有讽刺意义的是一架几百万美元的高性能飞机居然通常只由20来个机械员照看，而且这些人只有几年甚至几个月的经验。

该发动机在普惠公司内部名称是PW5000，通用电气公司登记的名称是GE37。经过F-16“发动机大战”的痛苦打击后，普惠公司决心拼死赢得这场1983年正式开始的竞争。“这是一场正面战争，每天都在进行。”时任PW5000工程经理的弗兰克·吉勒特说道，“无论需要什么帮助，人们就以‘我们一定能赢’的态度团结起来。这就是为什么我绝对有把握一定能赢。”









F119处于推力变向工作状态。

军用发动机高管里克·席尔瓦多年后回忆西棕榈滩和整个普惠的人们在F100“发动机大战”失利后的感觉。“好吧，我们被打得像落水狗。但是我们发誓，整个公司发誓，不能再有第二次。”

托尼·皮齐当时在西棕榈滩领导研制工作，在1985年公司时讯中与同事说，组装PW5000是自20世纪60年代F100研制以来他们的记事板上最重要的事情。“我们必须‘三思而后行’，按成本按进度制造部件。”他告诫人们：“我们必须团结协作。这是整个工作的底线，是我们的竞争优势。我们将因此打败通用电气公司。”普惠人从如何研制PW2000和PW4000中吸取的教训在PW5000上派上用场。团队协作成为每个参与者的口头禅。工程与制造之间的藩篱开始消失。

PW5000项目有很多非常有意思的地方，其中之一是强调外场可保障性，它与更吸引人的发动机性能问题一样重要。超级巡航可能光彩夺目，但实际操作需要勇气。例如，普惠工程师们进行“蓝二访问”（“蓝二”是空军人员的绰号，即袖子上有两条黄杠的蓝军装）。60多名工程师去空军部队体验实际维护工作，这是设计所要求的。回到普惠公司后，工具将摆放在设计图上，以便查看是否能拿到这种工具，以及机械人员需要具备何种技能。

发动机外部的航线可更换单元（LRU）不能上下前后相互阻碍遮挡，这样，机械人员就能很快触及到LRU，使用常用工具在20min之内就可以拆下。各个航线可更换单元使用一种尺寸的扳手就可以拆卸。因此，发动机整个工具箱就只有11种扳手。所有紧固件都是“系留式”的，它们不能完全脱离发动机，这样就可避免丢失，也不至于掉落，以免在凌晨3：00到下着雨的空军基地停机坪上摸黑寻找。

普惠公司一步一步向前推进计划，从设计到组件台架试验，再到研制试验发动机、地面试验和飞行试验，等等。最后制成的是35000lbf推力的涡扇发动机，带有对转压气机和涡轮，装有三级无冠风扇。高压压气机使用整体叶片转子，压气机的盘和叶片都是从一块锻件上加工出来的。这比把叶片一片一片地单独安装固定到压气机轮盘上的传统设计更加坚固，转速更快。推力矢量喷口可上下偏离中心线20°，1s就可以完成上下一个循环。

回顾整个研制过程，里克·席尔瓦总结道：“我们制造了世界上第一台隐身超级巡航加力发动机，它与众不同。”

领导发动机系统的汤姆·法默说，超级巡航能力的关键是掌握如何更好地管理发动机的热负荷，新方案是采用冷却空气和先进涂层对涡轮转子叶片隔热：

涡轮转子叶片在超过2500℃高温下正常工作，而母体金属在2100℃就熔化。要延长寿命，工作温度就要降到1400～1500℃。我们只要提高涡轮的耐高温能力，以保持非常高的转速连续运转。

随着1990年即将过去，紧张气氛在整个普惠公司不断加剧，特别是军工业务总部所在地西棕榈滩。普惠人把能够做的都已经完成。12月28日诺斯罗普和洛克希德先进战术战斗机原型机进行了最后几次飞行。12月31日，普惠公司递交了发动机的最终建议书，共35万页，重8000lb，装了262箱。包机运到俄亥俄州代顿市莱特-帕特森空军基地。通用电气公司比较轻松。他们仅用面包车就把一大堆建议书从俄亥俄州埃文戴尔通用电气公司总部运到莱特-帕特森空军基地。

国防部定于1991年4月23日宣布哪家公司赢得先进战术战斗机和发动机。“我们赢得了战斗机发动机大赛，”普惠公司总裁吉姆·奥康纳兴奋地对员工们说。奥康纳与前普惠总裁、全联合技术公司航空业务领导人阿特·韦格纳在一起，等待空军部长唐纳德·赖斯来电。16：15电话来了。原本计划将获胜消息传给西棕榈滩军事业务领导人约翰·巴拉古尔，先不对外宣布，等到全体员工大会再宣布。但是事情并没有按计划那样走。

“我听到从办公室传出大声喊叫，我知道我们赢了。”据巴拉古尔的秘书迪迪·哈德特-佩顿回忆：“一些人在楼道里大笑并相互祝贺。”待巴拉古尔和F119副总裁沃尔特·拜耳奇夫到达会场时，每个人都在庆祝。没有公司的官方记录，但那一晚对“高量酒吧”来说，一定棒极了。[1]

“我听到从办公室传出大声喊叫，我知道我们赢了。”

空军在洛克希德F-22和诺斯罗普F-23之间选择了F-22,在普惠F119和GE120之间选择了F119。当时，空军认为洛克希德/普惠组合提供了最佳成本和最低风险。通用电气公司发动机采用非常积极的变循环设计，在超声速时按涡喷发动机工作，而在亚声速时按涡扇发动机工作，大大提高了燃油效率。

在竞争后评估中，《航空周刊》推断，空军可能认为变循环技术

难以企及："复杂性的增加可能最终导致维护要求的提高，在发动机选型过程中可能伤及通用电气公司。"

普惠公司的沃尔特·拜耳奇夫对该杂志做出解释，他相信普惠公司更传统的路子能够胜任："普惠研制J58（SR-71）发动机具有长期的变循环经验，我们的判断是没必要使用那种能力来满足ATF发动机的要求，那样会增加重量和复杂性。"

赢得竞争在某种意义上仅仅是开始。长期复杂的研制和试飞计划接踵而来。F-22"猛禽"于1997年9月7日首飞，2005年12月投入使用，2006年1月执行任务。F-22是世界上唯一的第五代隐身战斗机，其F119发动机是最先进的现役燃气涡轮发动机。

但是，其通向成功的道路可能并不像今天听起来那样一帆风顺。汤姆·法默回忆道，其中有很多惊心动魄的插曲。例如，1996年末和1997年初在阿诺德工程发展中心进行发动机试验时，飞机正在等待起飞许可，加力喷口工作不畅。工程师小组在办公室集合，关了门窗。"他们有时出来透透气，我们就把午餐送进去。他们一直待在房间里。最后找到了解决办法。"普惠的几十个人去阿诺德工程发展中心排除故障。"我永远不会忘记在那里看到的喷口。"法默回忆道，"几千个部件在水泥地面上散落一大片。这些人专心致志地进行设计更改，使飞机恢复正常。他们做到了。真了不起。"

当吉姆·奥康纳称F119赢得战斗机发动机"超级碗"竞赛时，他就像赢得了"世界大赛"、"世界杯"和高尔夫大赛，它们可以相提并论。显然，赢得为F-22提供发动机有助于赢得联合攻击战斗机项目。该项目按美元计算将是美国历史上最大的军事项目，超过2000亿美元。

一台发动机，三种用途



F-35试验飞机使用**F135**及其升力系统的强大功率正在垂直着陆。
（照片由洛克希德·马丁公司提供。）

联合攻击战斗机（JSF）正式名称为F-35“雷电”II,在21世纪对普惠公司极其重要。该飞机将替换美国空军、美国海军、海军陆战队和英国皇家海军使用的F-16、F/A-18、A-10和AV8“海鹞”飞机。毫无疑问，全世界很多其他武装力量也将购买这种飞机。这意味着几千台发动机的销售潜力，但这也是普惠公司参与过的最复杂的项目。

1996年末，普惠公司赢得为洛克希德·马丁和波音JSF样机研制发

动机。通用电气公司被选中与麦道一起参加竞争，但麦道飞机没有进入下一阶段的竞争。普惠发动机在这个阶段叫做JSF119，是正在为F-22 试飞的F119的近亲。实际上这一台发动机相当于4台。洛克希德·马丁和波音公司将各自制造常规起降（CTOL）和短距起飞垂直降落（STOVL）两种飞机，每个公司需要两台发动机，因此是4台新发动机。为波音公司研制发动机的普惠小组和为洛克希德·马丁研制发动机的普惠小组之间必须有“防火墙”。[2] JSF计划也将有巨大的国际合作成分。罗·罗公司基于与“鹞”式飞机在STOVL上的经验将管理这一技术。普惠公司将必须在全球寻找其他伙伴和供应商，以鼓励未来将JSF纳入这些航空维修服务中去。

鉴于F119是35000lbf推力的发动机，JSF发动机将是40000lbf级，并且有可能需要增加推力而超过40000lbf，像所有发动机计划一样看来不可避免。得到多余功率的一个方法是普惠公司的试真法，即尽可能提高每一个发动机部件的效率，像早在活塞发动机时期一样挖出最后一盎司的性能和耐久性。工程师们提出他们称为F-22/F119“超级冷却”的概念，这样发动机就可以在更高的温度下工作。其想法是使用取自发动机核心机气流的冷却空气来降低高压涡轮转子叶片和静子叶片的温度。另一方面，是利用冷却方法使发动机燃烧室排出的高温燃气的温度非常均匀。普惠公司JSF计划领导人鲍勃·赛亚在2001年《航空周刊》文章中对该系统做了解释，他说，“超级冷却”允许发动机在超过涡轮转子叶片所用金属熔点约1000□的温度下工作。

最大的挑战可能是研制STVOL型原型机。波音公司选择的方法是使用直接升力，或将发动机推力导入弯转朝下的喷口进行短距起降。洛克希德·马丁最后获胜，采用的是“升力风扇”。在这种发动机上，功率从发动机传导给驱动轴和离合器。当离合器齿合时，离合器轴带动升力风扇，升力风扇转动29000hp的轴产生约20000lbf推力。空气进入升力风扇，通过驾驶舱后面的一组格栅门向下吹入飞机下方的导向叶片箱。导向叶片箱可以改变气流方向，也可以改变喷口出口面积以控制升力。STVOL系统在机翼上还有横滚支柱，从发动机得到4000lbf左右的推力，以保持STOVL工作时飞机的平衡。STVOL型发动机在排气喷口处安装旋转模块，可以改变发动机排气方向。要使这一切在几秒内配合默契完美无瑕地工作可能是JSF研制工作的最大挑战。但是由于有了数字式发动机控制装置、电传操纵以及普惠公司和罗·罗公司的伟大工程工作（大量的汗水和心血），发动机能漂亮地工作，显然这种设计比直接升力设计高出一筹。

然而，前进的道路并不完全顺利。在研制试验中，升力风扇离合器不能很好地保持，升力风扇齿轮箱润滑系统漏油。普惠、罗·罗和洛

克希德·马丁公司组成一个团队不辞辛劳日夜加班找到离合器齿合的新方法，并排除了漏油问题。

JSF发动机的核心一直是其近亲F119。高压压气机、燃烧室和高压涡轮都直接来自F119，这就是普惠公司JSF计划像过去一样进行的如此顺利的原因之一。“我们非常小心谨慎地保持核心发动机的优势，”该发动机计划领导人汤姆·法默在2001年《航空周刊》访谈时表示：“我们将对发动机的那些部分做非常少的改动。”



PW4000的94in、100in和112in风扇。该发动机可以产生**60000~90000lbf**的推力。

这种发动机共4台，在波音公司和洛克希德·马丁公司的飞机上的试飞都表现不俗。2001年10月26日，普惠员工集合在东哈特福德伦奇勒机场的老机库内观看竞争胜利的电视报道。这好像有点虎头蛇尾。无论是波音公司还是洛克希德·马丁公司，普惠公司都将得到发动机合同，而现在则正式确认了。洛克希德·马丁公司制造飞机，普惠得到48亿美元为F-35“雷电”II联合攻击战斗机研制发动机。这是普惠公司历史上最大的一笔交易。

该项目在系统研制和验证阶段与所有这样的项目一样都会有起伏。飞机重量增加，发动机工作温度有点高，软件语言不一定一致，技术转让破坏了关系，国会对成本和预算不满等，但工作仍然继续。在10多年之后的2006年12月16日，F-35首飞，并开始其试飞计划时，所有这一切达到顶点。

普惠人值得骄傲，但是他们要警惕。在20世纪80年代的“发动机大战”硝烟之后，五角大楼决定对JSF两边押注，并对通用电气公司/罗·罗公司的替代发动机F136提供资金。随着普惠发动机显示自己的能力，JSF计划决定不想或不需要替代发动机，并从预算建议书中砍掉替代发动机计划。但国会做出相反表决，继续为替代发动机提供资金。截至本书撰写之日，这一问题仍在辩论之中。但随着普惠公司设计、研制并生产出一系列高性能先进战斗机发动机，这些发动机将服役几十年，这已不是问题。

真正的大秀场

长程宽体商用航空建立在四发和三发飞机之上，如波音707、DC-8、波音747、DC-10和L-1011等。双发飞机用于短程国内航线。但是随后空客公司组建，A300——首款宽体双发飞机出现。不久，其姊妹机A310面世。波音公司以波音767相应对。双发飞机开始飞长程航线，特别是跨大西洋运营，这原本是波音747、L-1011和DC-10的天下。航空公司喜欢双发大飞机。使用两台发动机对采购、使用和维修来说都比较便宜，而新的双人驾驶舱也可节约成本。到20世纪80年代末，航空公司需要更大的双发飞机，而且这种飞机需要具有双发延程飞行（ETOPS）能力。[3] 大型双发飞机能够执飞优化的跨洋航线，使用双发比三发和四发飞机经济上更合算。航空公司曾经能够使用双发飞机在一台发动机停车的情况下飞行90min到达最近的备降机场。但是ETOPS取证只有在发动机/飞机组合运营几个月甚至几年后才能进行。飞机必须证明其空中停车率（IFSD）达到严格的规定标准。空客公司和波音公司试图对双发大飞机提出全新的要求：“开箱就有ETOPS”，即，从投入运营的第一天就具有ETOPS取证。而发动机对实现这一目标是至关重要的设备。

空客首推双发A330和四发A340系列飞机概念。在国际航空发动机公司决定不为A340制造超级风扇发动机后，原选发动机方案受违约影响而转为CFM56。[4] 但是，普惠、罗·罗和通用电气公司都在宽体市场日益激烈的竞争中竞标A330。

普惠公司原来设想PW4000与JT9D大小几乎相同，但能轻松地达到60000lbf推力。A330需要大于60000lbf推力的发动机，因此普惠公司开始将发动机升级到68000lbf的推力。低压压气机和低压涡轮都各增加一级为发动机增压。但对于风扇的大小存在争议，研制小组选定了100in直径的风扇，比原型PW4000的94in风扇长6in。燃烧室是新型的，称作“先进低氮氧化物技术”（TALDN）燃烧室。在这种燃烧室

中，空气和燃油的混合物以尽可能高的温度非常快地燃烧，然后快速冷却以控制氮氧化物的排放。按照美国和国际民用航空组织（ICAO）的规定,低排放和低噪声成为绝对的要求。但这会导致发动机尺寸和重量增加，它通常是人们关心的问题。普惠公司与当时洛克希德·马丁公司在马里兰州的航空结构业务单位合作，设计了全复合材料的发动机短舱，就其尺寸来看，是民航业最轻的发动机短舱。PW4168以完整的推进系统出售，这在普惠公司尚属首次。过去公司一般提供裸机，与飞机制造商一起提供发动机周边所需附件和短舱。当PW4168发动机1994年投入运营时，那是第一款投入运营第一天就达到90min ETOPS级别的商用发动机，很快又创造了杰出的可靠性纪录，获得当时最长的180min ETOPS能力。通用电气公司用CF680C2系列的衍生型发动机来进行竞争，而罗·罗公司推出新的大推力“湍达”发动机开展角逐。

随着PW4168研制的开展，另一个更大的发动机项目开始。波音公司准备用原来叫做波音767×的飞机应对A330。普惠公司商议提供96in风扇的PW4000，其原型发动机现在的推力达到62000lbf，或者100in风扇的PW4168。航空公司举行了盛大的记者会，他们需要的飞机应超过增强型加长波音767。显然波音公司必须提供全新的飞机，即波音777。波音公司深信，普惠公司和通用电气公司用于A330的衍生型发动机不适合波音777。罗·罗公司揭开了新型“湍达”发动机的面纱。

普惠工程师们怀疑PW4000能否达到80000lbf的推力。他们想用PW4168增推至70000lbf或更多些。波音公司否决了普惠公司的建议并告诉普惠公司领导，如果他们想参加竞争，他们应该有更好的东西。对普惠公司来说，问题是超大推力发动机轴承受的扭力。改变轴的直径不是一个好方法，因为这将抛弃全部衍生型发动机设计做法。最后期限很快到来，需要做决定“是慢条斯理还是快刀斩乱麻”，工程部门被告知赶快拿出方案。他们拿出来了，就是使用特殊合金和新制造技术使轴的设计具有所需的强度。普惠公司在波音777竞争中提出使用PW4084，这是当时从未制造过的最强大的航空发动机，用于从未制造过的最大双发客机。发动机的取证推力是84000lbf，并且最终增加到98000lbf，将配有112in风扇，低压压气机增加一级，低压涡轮增加两级以得到所需做功来达到这一推力等级。

大风扇带来一些特殊问题。用传统合金制造实心叶片不仅叶片非常大而且非常重。如果叶片相互之间装有传统的叶冠（英国人叫减振凸台）以增加强度，重量会增加更多。所有发动机风扇都应包容在风扇机匣内以防因鸟撞或外物损伤而发生灾难性叶片失效。工程师们如

何制造出这种机匣，能包容转速在9000r/min的112in风扇，而且该机匣不会致使发动机前部非常重？凯夫拉如何？就是用来制造防弹背心的那种材料。于是，就想出了在薄的金属风扇机匣外面包上多层凯夫拉织物的办法。

现在，工程师们还要解决非常大的风扇叶片的问题。如何制造？工程师们记得罗·罗公司用复合材料为L-1011制造大风扇叶片所遇到的问题和度过的艰难时刻。如果实心金属与复合材料不能使用，还有什么能用？制造人员经过不懈努力采取一种工艺制造空心钛风扇叶片，既轻又坚固。实际上，他们把空心叶片的两半分别加工，然后在高温高压下黏合在一起。关键不仅在于能一次完成，而在于创造出可以重复而且价格不贵的工艺。制造小组度过了很多漫长的日日夜夜，最终他们成功了。在首台发动机进行试验后，项目开始时业内人们对大的空心无冠风扇叶片的议论已不是问题了。

波音777的PW4084还有另一点令人皱眉头的地方。“开箱”就具有180min ETOPS能力。世界上最大的发动机装在世界上最大的双发客机上在大洋上空飞行3h才能到达机场。该计划受到很多人的关注。正当波音公司和空客公司向前推进双发大飞机之际，航空公司又一次陷入低谷，分析家们比较客气地称之为经济下滑周期，这对该计划有害无益。第一次海湾战争的影响、燃油价格的飙升、全面不振的世界经济以及收益非常低下的被解除管制的美国航空公司，这些全都背着骂名。



研制空心钛风扇叶片以便**112in**风扇叶片能装到波音**777**的**PW4084**发动机上。

当联合航空公司用PW4084发起波音777飞机时，波音777的大突破1990年秋天到来。英国航空公司通常是罗·罗公司的客户，当通用电气公司用它的新GE90赢得英国航空公司下一个订单时，行业为之震惊。普惠公司进行反击，赢得全日空航空公司订单，而全日空航空公司是传统的通用电气公司客户。仅在几年前，日本航空公司曾拒绝普惠公司为其波音747-400提供PW4000。罗·罗公司为“湍达”赢得新加坡航空公司波音777大单而获得意外成功，而在此前，新加坡航空

公司没有别家的发动机，只有普惠公司的发动机。人们可以想象到这个竞争世界的激烈与艰难。而这些销售的利润还远在天边，三大公司的利润都在不断减少。

毫不夸张地说，普惠公司在全球航空业关注之下，为PW4084执行着一个严谨的研制计划。从初步设计到生产发动机，研制团队为每一步程序都制定了“过滤器”系统。所谓过滤器系统就是“研制计划及其关联的所有问题都从一端进入，依次通过8个过滤器进行审查过滤，直到生产发动机准备就绪投入运营。”PW4000计划经理汤姆·达文波特1994年在《航空周刊》访谈时说道。

在过滤系统中关键步骤之一是按照180min ETOPS要求回头检查发生在JT9D、PW2000和94in的PW4000上的每一次空中停车。“关于我们的发动机，我们有巨大的数据库，”达文波特说：“在这一过程中，我们要确定需要落实哪些工作以避免问题再次发生，以及需要进行哪些新的试验来核查新的设计。”

最艰苦的试验大概是3000个循环过程，从1994年6月到10月。我们让发动机尽可能以接近ETOPS条件运行，包括以全功率模拟3次到备降机场降落的飞行。作为试验计划的组成部分，故意使发动机在不平衡状态下运转，以检查发动机在大的振动应力下的工作情况。在试验中，航空公司客户的机械人员像他们在正常飞行运作时那样进行日常维护。实际上，大部分发动机设计，特别是外围部件，得到了机械人员的指导和认可。在计划早期，航空公司人员还被邀请到东哈特福德来看他们如何在PW4084实际模型上处理问题。每当他们发现不喜欢的事情，就在那里贴一个红标签。经过第一轮后，普惠的工程师们说他们的发动机看起来像挂满了彩带的圣诞树。



112in风扇**PW4084**在联合航空公司第一架波音**777**上安装。

由此他们获得许多经验教训和有益建议，包括对尽可能多的部件做彩色标记以便查找管路和线束，使用系留紧固件避免丢失遗漏，甚至在风扇机匣上加个脚踏和把手，这样机械人员就不需要抓着线束爬上机匣顶部。

就是这些细节使PW4084一开箱就具有180min ETOPS能力。例如，工程师们对所有空中停车分析表明，发现有些问题是滑油箱盖没有盖好而漏油造成的。因此对滑油箱盖和舱门盖板重新设计，而如果油箱盖没有正常固定好，舱门无法关闭上锁。

计划的严格程度使人精疲力尽，有时在进度方面也令人焦虑不安。联合航空公司1995年6月在华盛顿到伦敦之间180min ETOPS航线上将该飞机投入运营，各种工作正常。头两台发动机是用俄罗斯的大型安东诺夫运输机从康涅狄格州运到西雅图。经过飞行，机械人员完成最后的修改。

过滤器管理系统起到了很好的作用，1994年6月12日波音777首飞。在试飞中完成了1000个循环，包括8次180min ETOPS转飞备降机场。发动机表现完美无缺。计划初期，遇到一次有点令人尴尬的时刻。第一台试飞发动机装在RA001上，即原来的波音747，现在用作

试飞平台。一天在飞机从波音机场起飞过程中，发动机出现喘振，发出三声巨响，接着冒出黑烟。但发动机在几秒钟内恢复正常，经过微小调整就解决了问题。巧合的是，当时网络电视拍摄小组碰巧在波音机场为亚太经济高峰会议拍摄花絮故事。整个事件的全过程都被记录在录像带上，一段时间成了人们热议的话题。

普惠公司、波音公司和航空公司客户的努力工作在1995年5月30日有了回报。FAA授予波音777飞机180min ETOPS，这是历史上第一架在投入运营的第一天就获得这种资格的飞机。[5]

---

[1] 普惠在佛罗里达开业时周围什么都没有。那时唯一能运转的就是一个小小的加油站。在这里有一个传统，就是下班后走到这里停下来给车加满油，再从这个小地方的大冰柜里抄起一罐啤酒，因此人们叫这里是“高量酒吧”。深入研究确凿的证据表明这里销售的啤酒和汽油一样多。

[2] 在使用中，还有第三种型号的发动机，海军舰载机的发动机。但是，这种发动机与传统起飞和降落型仅有细节上的差别。

[3] 业内言语幽默之人用令人毛骨悚然的幽默说ETOPS代表“发动机转不停，否则乘客水里游”（engines turn or passengers swim）。

[4] 罗·罗公司后来赢得为空客A340提供发动机。

[5] 在运营中该飞机/发动机组合展示了杰出的可靠性之后，波音777/PW4084组合获得某些太平洋航线上的207min ETOPS资格。

第11章 新世纪，新公司

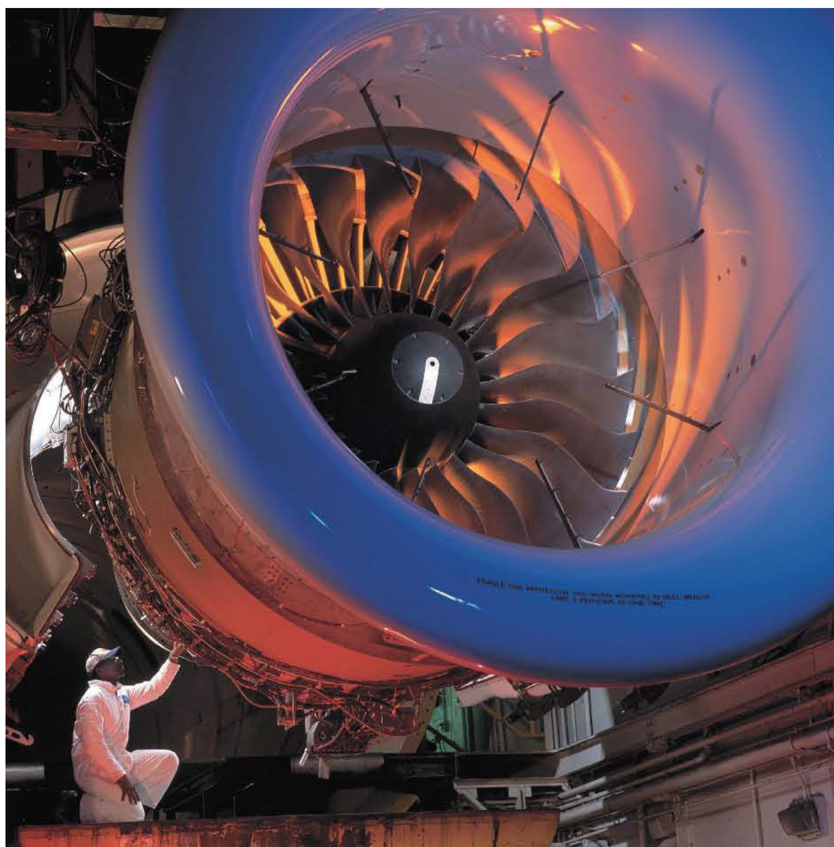
20世纪末若干年，普惠公司和它的两大竞争对手以及大部分航空工业企业一样都面临一些非常艰难的问题。这些公司的结构设计起初是为打赢二战，然后是为应对冷战。随后，航空业转产喷气机，支援全世界的航空运输体系。后来，又把人送入太空，完成登月之旅。这样就造成公司机构庞大，人员臃肿。整个基础设施及其所制造产品的成本控制没有被当成头等大事。政府对研发拨款出手大方，军民项目计划不计其数，当然这样做有助于提高产量，保持工厂运转，避免人员闲置。



ACE和精益思想把普惠公司的产品质量和生产率提高到新水平，员工队伍探讨最佳途径，来进行工厂布局和提高整个公司绩效。

但是到20世纪80年代初，对于普惠和其他公司来说，事情在发生着变化。普惠公司总裁罗伯特·卡尔森早在1982年初就告诫联合技术公司董事会，随着航空业的成熟，公司必须改变。航空公司前两年亏损30亿美元，军费开支和项目削减，三大发动机公司的竞争趋于平稳，“航空公司客户群的情况已经在恶化，有些资产负债表反映一些

公司净价值为负。”卡尔森说：“认为任何供应商都有技术优势，而且这种优势就市场而言是重要的，就时间而言是长远的，这种看法不现实。”他预测普惠公司与通用电气公司和罗·罗公司在商用和军用发动机方面竞争的剧烈程度将是空前的。他对航空公司财务健康状况的担心在未来20年将一次次重复出现，而整个行业将在头晕目眩的打击下从兴盛走向衰落。



终究不是太陌生的伙伴，普惠和通用电气公司组建“发动机联盟公司”为空客**A380**制造**GP7000**发动机。

普惠公司和大部分航空业的其他公司将像他们多年来经历的那样，艰难地度过20世纪80年代，但是1989—1990年冷战的结束和第一次海湾战争造成的动荡迫使整个行业对成本和精益机构大概只是口惠而实不至，以便草草收场。

到1992年，当公司面临2亿多美元亏损时，需要采取一些激进的

措施。乔治·大卫刚接任联合技术公司总裁，不久鲍勃·丹尼尔退休后，大卫将成为董事长。他首先采取的行动之一就是调老牌财务高管马克·柯兰从联合技术公司总部回到普惠公司，要他在制造上搞出点名堂来。在詹姆士·沃马克与丹尼尔·T.琼斯合著《精益思想》一书中详细地讲述了该故事，该书辩称用普惠做“决定性试验”，看看庞大而有点笨重的航空航天业公司能否采用精益原则，该原则曾推动日本战后经济大规模复苏。

柯兰回忆道：“我刚来时，非常突然，所有能出错的地方都出错了。我意识到，不仅仅只靠简单削减成本的办法来对付产量下降10%的问题，而是要重新思考全部工作。”他的这一努力得到卡尔·克拉派克的帮助，克拉派克1992年12月被任命为普惠公司总裁，负责重大改革。克拉派克和乔治·大卫都来自联合技术公司的工业部门公司奥的斯和开利，非常熟悉日本的事情。大卫说服日本新技术咨询公司的制造顾问离开通用电气公司来联合技术公司和普惠公司工作。“我激动不已。我们迫切需要他们的知识，最后我们把他们从通用电气公司挖了过来。”大卫给沃马克解释说。他们是后来称之为“一件流”制造方面的专家，这是精益生产的核心。这种方法摒弃了“批量加工”体制下的大量昂贵库存和在生产产品，而这些在美国工厂是非常传统的做法。大卫和卡拉派克在奥的斯工作时就知道日本松下电器公司的质量经理伊藤让，劝他来联合技术公司，并建立“伊藤大学”，在那里这位轻声细语的权威人士对质量问题进行不懈的根源分析并教导其他人也这样做。说实在的，开始普惠公司很多人对所有这些帮助并不热情，对很多人来说这是很痛苦的事情，但是，一个公司要在21世纪新的航空航天世界取胜，就必须适应。

“我们一周的产量是3台大发动机和6台小发动机，我的办公室基本上就可以装得下。那么为什么我们需要上千万平方英尺的厂房和仓库呢？”卡拉派克问道。不久，普惠公司在康涅狄格州北黑文和绍星顿的工厂关闭，那里的工作合并到东哈特福德和米德尔顿。有些工作则外包到在这方面做得更好的公司，以便降低成本。真正的痛苦不光来自失去砖头泥浆盖起的工厂，还来自20世纪90年代初结构调整失去的10000个工作岗位。

普惠公司最大的有形变化之一在1999年，政府发动机业务要有条不紊地从西棕榈滩厂区搬回康涅狄格州的设施。只有室外试验设施和液体火箭发动机工作留在佛罗里达州。这对佛罗里达的人们是痛苦的，对几千名需要搬家的员工是艰难的。公司为员工及其配偶安排了熟悉环境的旅行，让他们到康涅狄格州来看房，感受一下当地环境。一些人仍然把第一次佛罗里达—哈特福德之旅当笑料，因为那天在哈

特福德迎接他们的是暴风雪。经过几年的巨大努力，顺利完成搬迁，对F-22和JSF计划没有丝毫影响。



用于空客**A318**的**PW6000**。

从佛罗里达搬迁的部分原因是公司新的整体结构要求。多年来，普惠公司已经成为储备仓库群。这一努力始于PW2000、PW4000和F119计划，在这些计划中，让员工跨功能部门间进行合作，并取得一些成功，但还不太够。公司内仍然存在一种倾向，有问题时会指责任何其他团体或部门，而非自己。部件要在公司内往返数英里，最后才被装上发动机或被交运用作备件。在一个地点，普惠公司配备两类督导员，一类在东西过道上，一类在南北过道上！对工程、管理和其他制造工作方面，公司把时间和金钱花在时任商用发动机总裁的塞尔·博森所惋惜的“白领报废、返工和修理”上。

公司经过机构调整成立了“单元体中心”，在每个中心，负责设

计、研制或制造发动机主要组件的人都在一起工作，无论军用发动机还是商用发动机，无论工程师还是制造人员。工程和制造之间的藩篱最终被打开。这些中心包括压气机段中心；燃烧室、加力燃烧室和喷嘴中心；涡轮单元体中心；发动机控制和附件中心；组装和生产试验中心等。

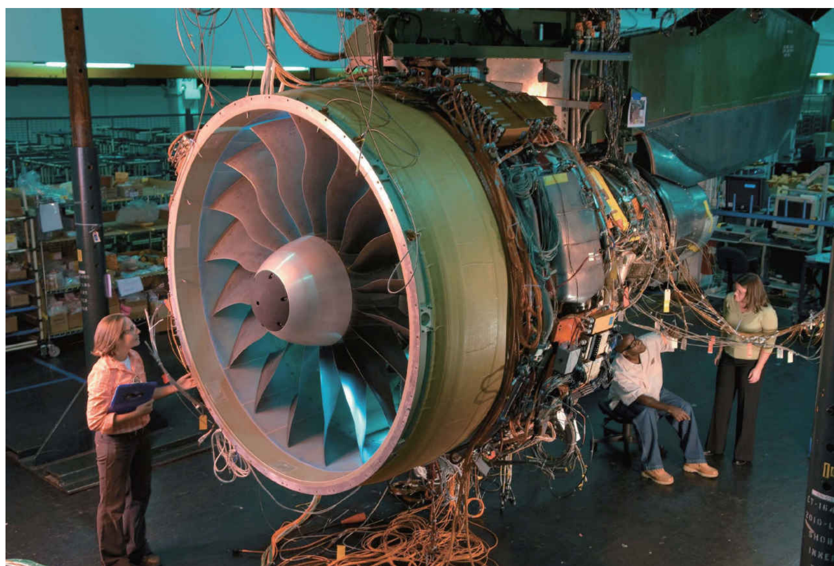
整个公司的管理组织是新的运营系统，叫“获取竞争优势”（ACE）。联合技术公司和普惠公司与几乎每个美国公司一样早在20世纪80年代就尝试过几种不同的质量管理方法，结果不尽相同。随着20世纪90年代日本新技术咨询公司和伊藤先生的到来，精益制造与质量被综合在一起形成了ACE。这是一个如何管理公司的详细而严格的系统。ACE与其他提高质量/生产率的主张不同之处在于ACE基于“市场反馈分析”。简单地说，ACE起始于客户和他们如何评价公司。有什么问题？普惠公司的“计分卡”得分是多少？然后对客户希望得到的和他们实际得到的之间的差距进行分析。原则是你要把你的改进实打实地瞄准客户的需要。

不久，普惠公司的每一个人都知道了6S，即整理、整顿、清洁、规范、素养和安全，或知道如何认证他们的程序，或定义他们的标准作业，以及如何准确地比较和评价流程图。人们不仅没有了对ACE课程长的不满和抱怨，也没有了对ACE协调员的嘲讽，ACE终于见效。另一个使ACE区别于其他质量/成本行动之处是ACE成为定式。不会再有一套缩略语和字母需要明年再学习。可能是这一因素克服了人们起初的怀疑，因为一个“又一个计划”确实把人们搞烦了。他们正在向自己证明，这一套确实有效。从2005年到2006年，公司的部件产量达到计划期间的最高水平，流动资本周转提高了13%，营业收入平均每个员工增长20%，报废、返工和修理率下降20%。另一个有力的统计是，自从实际实施ACE，普惠公司总体收入增长20%，销售额增长逾110亿美元。

不怎么陌生的伙伴

即使航空业处于动荡之时，各个公司也在寻找新的项目。波音747曾是一个大赌博，却是一场大胜利。波音747飞机是全球航空旅行的象征。空客公司迅猛发展，完成走向全产品线供应商的旅程，准备与波音公司的优势地位一决雌雄。波音公司计划用比波音747-400还要大的加长波音747予以应对。在三大发动机制造商竞争A330和波音777的发动机引起的财务困难形势下，各公司对所建议的这些飞机采用“三发对一机”的做法有点小心谨慎。出于这种担心，两大发动机

制造公司1996年组建了另一个合资企业：发动机联盟公司。这是普惠公司和通用电气公司各占50%股份的合作伙伴公司。这样做的思路是整合112in风扇PW4000和GE90的最佳技术制造一种新发动机，GP7000，用于新一代超大型飞机。这就为两家公司和客户降低了看来有些狭小市场的财务和技术风险。而罗·罗公司则研制另一个型号的“湍达”。[1]



齿轮传动涡扇发动机能把商用航空业的环境绩效提高到新水平。

GP7000将是80000lbf级的发动机，使用GE90的核心机和PW4000的低压段。当波音公司搁置其波音747增长计划后，市场的脆弱很快显现。空客A3××多年来进展缓慢，发动机联盟公司看来有点不像普惠公司和通用电气公司嫡系。但是空客公司奋力向前推进，A3××成为A380。GP7000也起步快跑，截至本书撰写之时，GP7000从空客公司获得大喷气机发动机的主要市场份额。与发动机无关的延误打乱了A380计划，但是GP7000计划2008年投入运营。



RD-180。

波音公司和空客公司注意高端市场，与此同时，他们也在注视着低端市场。庞巴迪公司和巴西航空工业非常成功地推出支线喷气机计划，引起了两大飞机公司对100座飞机市场的兴趣。波音公司有接近完成的新一代波音737以及与麦道公司合并而继承的MD-95。该飞机后来成为波音717，但从未获得明显的市场成功。空客公司决定它必须保卫A320系列飞机的低端市场，并把A319缩短成为A318。

这种新飞机需要何种发动机变得令人摸不着头脑。CFMI推荐能满足要求的推力较小型号的CFM56，而IAE不愿意提供减小功率的V2500，普惠公司和罗·罗公司认为其重量和阻力大带来损失使这种发动机没有吸引力。普惠公司对其一些发动机核心机存有争议。在18000～24000lbf推力级中，没有JT8D的替换发动机。V2500是25000lbf推力核心机，普惠加拿大公司刚进入10000lbf和10000lbf以上推力级。出于对新核心机的需要，A318选择了PW6000。

“即使航空业处于动荡之时，
各个公司也在寻找新的项目。”

多年来，油耗一直是发动机设计的重要考虑因素，各家公司用尽它们所有的技术力量设法在这里进行百分之几的改进，在那里进行百分之几的改进。但是100座飞机市场需要的东西不同。这种航空公司使用100座飞机在相对较短的航线上每天进行多次航班飞行。降低几个百分点的油耗对飞长程航线的航空公司才真正有所回报。每天多次起飞着陆，加上使用经济巡航功率的时间相对较短，降低油耗并非重要因素。耐久性和维修成本对100座飞机市场更加重要。PW6000的设计避开特殊材料而追求坚固并减少部件，从而非常大胆地采用5级高压压气机。减少级数的确能减少部件和维修量，但是每一级必需做更多的功。在飞行中，PW6000发动机工作非常好，也很坚固，但是压气机油耗达不到要求。正如航空界有时会发生的事情一样，实现某个目标的努力却损害到其他某个地方。普惠公司的合作伙伴MTU提出6级压气机的设计，使发动机依然非常坚固，维修成本低，油耗合适。PW6000另一个独特之处是，发动机总装由MTU在慕尼黑进行。除战时的型号外，PW6000是普惠公司的发动机第一次在本公司之外组装。

在工程方面，遇到每一个问题都应该是一次学习的机会，PW6000也是这样。其大胆的压气机设计在很大程度上依靠电脑模拟，但是对于硬部件，没有技术完备性和验证计划。普惠公司总裁路易·谢纳沃那时指出，技术验证计划会避免问题。将来，“技术完备性”将是标准作业程序。这将与详细的工程标准作业规定相结合，以确保计划目标完成。标准作业是整个ACE结构的关键部分。基本上，标准作业就是，采用各小组制订的最佳做法使每个可重复程序都始终一致，没有浪费。把这些做法在全公司共享。可以说，标准作业就是，每次以完全相同的方法，使用所需的最少资源，做出最大的努力，获得最大的成果。

齿轮传动涡扇发动机

这一节我们了解一下普惠公司下一代飞机的新型商用发动机，齿轮传动涡扇发动机。这一概念可以追溯到很久以前，实际可追溯到螺旋桨时期。螺旋桨为飞机提供动力效率非常高，但是在功率越来越高使叶尖接近超声速时就出现稳定问题。你可以说，前面装有大风扇的大涵道涡扇发动机就把螺旋桨的优秀特点与喷气发动机的功率结合起来。但是风扇也就能转那么快，否则将降低性能。而压气机和涡轮能够经得起高得多的速度，能做很多功，而风扇不能。当核心发动机直接与风扇相耦联时，就像普惠公司和通用电气公司的标准双转子设计一样，设计师们经常不得不采取折衷办法。罗·罗公司开始用三转子设

计以得到较高风扇效率的办法来解决这一问题。至于哪个办法效果最好，这是工程师们之间永无止休的争论话题。在20世纪80年代初，另一个概念冒出来。普惠公司和汉密尔顿标准公司称之为桨扇发动机。通用电气公司则称自己的发动机叫无涵道风扇发动机（UDF）。想法是把一个像螺旋桨一样的巨大多桨叶装置安装在发动机外，就像传统的螺旋桨而不是机匣内的风扇。核心机以最佳速度转动，并使用标称3：1的减速齿轮箱以较慢的速度有效地带动巨大的桨扇。这样就可以设计一个带有大涵道比的巨大风扇，与标准的涡扇发动机相比，效率高，油耗低，噪声小。两个公司都把验证发动机装在MD-80飞机上飞行，但是航空公司从未下订单。巨大的螺旋桨装有十几个像短弯刀一样的桨叶，在乘客眼前旋转是有些吓人。桨扇和UDF淡出，但是这种想法时不时会冒出头来。

巨大的超声速螺旋桨即使取得良好的排放绩效，也还有噪声损失。安装如此巨大的结构还造成一系列骇人的问题。而可靠性是另一个问题。业内资料显示，尽管有某些传统智慧，齿轮箱也是难题，而巨大桨扇所需的变距机构比齿轮箱有更高的维修要求。即使桨扇概念不是赢家，但普惠工程师们知道他们有锦囊在手。

GTF发动机故事令人着迷的部分之一是如何冷却齿轮箱。该齿轮箱比传统的涡桨发动机齿轮箱多吸收几千马力的热能。工程师们趴在齿轮箱上弄得满身油腻，他们有趣地发现，在齿轮箱内，冷却滑油只是简单地流动，没有全部真正起到冷却作用。因此他们想出办法把冷却滑油准确地浇到齿轮的每个齿上。他们很在行，观察细小油滴冲击齿轮齿牙的高速摄影照片。他们还找到快速把齿轮箱中的滑油送回滑油箱的办法。这就意味着需要的滑油量减少，而且暴露在高温下的时间短。因此，需要的冷却减少，滑油冷却器体积就比较小，这是航空公司经营人员考虑桨扇发动机或UDF时所关心的问题。



在距离州府大道和烟厂仓库遥远的地方，普惠公司与中国东方航空公司2007年为发动机大修中心举行奠基仪式。

此外，意识到航空公司不愿意使用暴露在发动机外面的大风扇，他们首先想到的是先进涵道推进器，大风扇置于发动机机匣内。1992年，验证发动机成功运转，使用标准PW2000的核心机，40000hp齿轮箱，118in风扇的变距机构。虽然该技术给人印象深刻，但眼下航空公司对标准涡扇发动机还相当满意，所以还不足以说服航空公司迈出这一大步。但是普惠仍坚持工作不放松。鉴于历时20年耗资几亿美元的研发，普惠工程师们推出齿轮传动涡扇发动机，使用包容在风扇机匣内非变距超大涵道风扇。在多达200个乘客的飞机上，齿轮传动涡扇发动机比传统设计的发动机油耗降低20%，进而排放也减少20%，噪声降低到比4阶段规定还低20dB。噪声水平大概是传统大涵道涡扇发动机的一半。这些都是选用齿轮传动风扇发动机技术的强有力论据，特别是在航空公司受到日益增长的环境压力，以及燃油成本成为广受关注的时代。

该计划预计是普惠公司未来的重要工作，并应瞄准下一代单通道飞机。对商务的关注使公司不准备参加波音787或空客A350宽体计划，代之以集中在新的单通道市场波音737和A320系列的替代飞机上。市场调研表明，GTF发动机起初应该瞄准20000~30000lbf推力范围，但是该项技术会有上下起伏，并且该技术也将成为普惠加拿大公司未来的组成部分。

“GTF发动机具有客户所寻求的优势，”商用发动机研制领导人鲍勃·萨亚说道：“在低压涡轮和风扇之间安装减速齿轮箱，各组件就能以自己的最佳速度运转，你就得到功率大、级数少的好处，而且部件少，成本低，重量轻。”

所有的辛勤工作2007年秋结出硕果。三菱重工宣布它将制造70～90座新技术支线喷气飞机，该飞机将使用普惠公司齿轮传动涡扇发动机。关键优势是GTF能满足三菱的进度计划。2008年3月28日，三菱支线喷气机计划正式发起，订单来自全日空航空公司。庞巴迪公司也为其C系列飞机选用了齿轮传动涡扇发动机。两款飞机预计2013年投入运营。

降低商用发动机对环境影响的其他做法遥无踪影，即使有，改进效果也相对有限，不会有明显的环境或经济效益。GTF被确定为今后若干年普惠商用发动机业务不可分割的组成部分。

你的确应该成为火箭科学家

早在20世纪50年代中叶，普惠公司就意识到，在航空行业向航天行业转型中，要生存就要进入火箭行业。前面我们详细讲述了这些风险项目和取得的成果，尽管公司还没有达到所希望的规模。

RL10液氢发动机非常成功，使普惠公司对航天发动机行业有了非常透彻的了解。20世纪90年代，普惠公司加紧了与俄罗斯的合作，没错，就是俄罗斯。俄罗斯的火箭发动机一直是苏联时期的技术明星。随着苏维埃政权的倒台，这些技术可以向西方提供。俄罗斯为了保留他们的那些设计局而寻找出路，普惠公司做出友好姿态，双方最终组建了RD-AMROSS 合资企业。该合资企业推出的产品是RD-180，这是一种百万磅力推力的火箭发动机，比美国研制的火箭发动机强大10%。RD-180用作洛克希德·马丁公司“宇宙神”III和V运载火箭的助推发动机。

> “2005年8月，普惠洛克达因公司正式成立。”



普惠洛克达因公司发射航天飞机。
（NASA照片，友情贡献。）

随着新世纪的到来，美国火箭工业进行兼并的态势已明显可见。军用和民用发射计划减少，市场紧缩。冷战时期可以随时追加预算和更改计划的做法如今已不可能，登月竞赛早已一去不返。洛克达因是

航天推进系统先驱之一，曾作为北美航空公司的一部分而起家，后来归属洛克威尔公司，最终落脚到波音公司。2005年，波音公司决定，制造火箭发动机不是其核心业务，并开始寻找买家。而推进系统是普惠公司的核心业务，并且普惠公司想加强其航天方面的业务。因此，波音公司和普惠公司一拍即合，双方成交，2005年8月，普惠洛克达因公司正式成立。

洛克达因的历史是一个迷人的故事。[2] 二战结束时，北美航空公司领导人达奇·金德尔伯格和李·阿特伍德注意到德国科学家研制的火箭诸如V2所取得的成功。他们认为北美航空公司最好开始筹划这一新的火箭业务，把它作为公司未来的组成部分。一帮年轻工程师凑在一起开始鼓捣液体燃料发动机。他们的第一个“试验场”是公司在加利福尼亚州英格尔伍德厂区停车场的一部分。幸运的是，那里有战时为防止日本人进攻所修筑的碉堡。人们一头扎进新试验场/停车场，其他人则开始收集喷气推进实验室（JPL）租借的战争剩余物资，如推力室和喷气助推起飞（JATO）发动机。首批JPL的发动机推力只有50lbf。一些组员回忆，这些发动机的声音像吹口哨，而不是轰隆声。



“德尔塔”重型**DSP-23**发射。
（联合发射联盟公司图片，友情提供。）

当年轻的公司赢得为纳瓦霍导弹制造发动机的合同时，出现了突破性进展。公司的历史学家罗伯特·S.克雷默说，多亏很早就决定与韦尔纳·冯·布劳恩及其在亚拉巴马州红石兵工厂的陆军/NASA团队打交道才造就了洛克达因公司。洛克达因公司的发动机用于美国第一颗卫星的发射和“红石”导弹，使艾伦·谢沛德成为第一个进入太空的美国人。洛克达因公司的发动机还载着约翰·格伦进行第一次轨道飞行。洛克达因公司为木星、土星、土星I、土星IB、土星V等导弹和航天飞机（洛克达因公司打败普惠公司而获得航天飞机的工作）制造火箭发动机。普惠洛克达因公司已开始研究新一代航天运载器，例如阿瑞斯I，

它将帮助美国人再次登月。洛克达因公司还提前审视太空推进和高超声速系统。收购洛克达因公司使普惠公司成为完整的发动机推进系统公司，从普惠加拿大公司的PT6到百万磅力推力的RD-180。它比航空航天发动机行业中任何公司都有更广阔的技术基础。

> “普惠洛克达因公司已开始研究……它将帮助美国人再次登月。”

在世界各地为你服务

自20世纪90年代开始，普惠公司经历了彻底的改变，这是又一次业务的再发明。同过去一样，其重点是为客户提供最好的发动机，但是这次的视角比过去更多地关注发动机离开工厂后会出现什么问题。几十年来普惠公司和其他发动机公司一样靠卖备件赚钱，这已不是秘密。他们自己很少维修发动机。普惠公司的维护、修理和大修（MRO）业务基本由保修厂负责。做法是建立航空公司客户自己的大修厂，然后帮助他们成为第三方供应商。这是销售发动机的办法。买我们的发动机，我们将把你放到大修业务中去。我们不是没有听说过，销售人员向大修人员建议取消可能伤及航空公司大修厂业务的交易。多年来，出售新发动机和备件以及仅做非常有限大修和修理工作的体制运行顺畅。然而，改变正在到来。

可能最重要的是，航空公司开始审视他们自己的业务。结果很多航空公司不愿意做配餐、经营酒店，甚至不愿意修理发动机和飞机。他们只想卖票和飞行。一些最盈利的航空公司外包他们的维修工作。如果一个航空公司购买了新的飞机/发动机组合，更是这样。建立并管理好大修厂会非常费钱。在很多情况下，现在销售发动机不是包括为航空公司建设维修厂，而是同意包括长期维修协议。

甚至空军也在寻求这种帮助。有些国家没有掌握维修日益先进设备的知识基础。在另外一些情况下，削减预算减掉了现有人员的数

量，因此用外部承包商比用正规军人或文职人员更合算。一个简单的例子是陆军雇用餐饮公司为战地部队提供食品。

所有这些趋势给普惠公司发挥技术专长和再次改变自己提供了机会。普惠公司在世界各地为大型商用和军用发动机建立起包括20多个大修和部件修理中心的网络，即“全球服务伙伴”。这不仅是拧扳手的工作，普惠公司还提供整套发动机机队维修计划、航材需要规划计划、实时性能数据收集和分析，甚至航线维护。普惠公司在这个市场所具备的优势是其工程方面的专门知识技能。发动机设计和试验工程师的原班人马投资几百万美元用来研制新的创新性部件修理，为客户节约成本并提高性能。在21世纪，人们还强调发动机必须更加环保。例如，普惠公司开发了一种服务，叫做EcoPower□发动机水洗。这是一套具有完全闭合回路的发动机水洗系统，使用清水，不用化学清洗剂，没有外泄。发动机在翼就可以完成水洗工作，水洗后的发动机会降低油耗，减少排放。除普惠公司发动机外，普惠公司的网络还维修CFMI和罗·罗公司的商用发动机。普惠公司甚至为CFMI发动机制造新部件，以及提供部件修理。2007年普惠公司创造了自己的新缩略语来描述自己。不是OEM（原设备制造商），也不是MRO（维护、修理、大修），而是OEMRO！



三菱重工为其新的支线喷气机选择普惠齿轮传动涡扇发动机。

这一努力的关键是与世界各地的航空公司合作，建立高技术服务公司。他们为航空公司提供最佳服务带来全新的视角。这些航空公司有新加坡航空公司、新西兰航空公司、中国东方航空公司和土耳其航空公司。挪威发动机中心负责大修CFM56，原来由挪威布拉滕斯公司建立，后来被普惠公司收购。

这一新的业务组合以及普惠公司在北美和世界各地对制造设施和服务中心的参与，正在提供像“黄蜂”发动机那样的变革，正在进行如同从活塞发动机向喷气发动机那样的飞跃。普惠公司正在谱写可信赖发动机历史的新篇章。

---

[1] 在此期间，业内分析人员不断地说，发动机行业将进行兼并，推测普惠公司和罗·罗公司可能合并。两公司都指出，实际上发动机行业通过建立合资企业，诸如CFMI、IAE和EA，再加上围绕三大发动机公司的一系列其他合作伙伴关系，已经进行了兼并。

[2] 对这段详细叙述感兴趣的读者可以查阅2006年AIAA出版，罗伯特·S.克雷默（Robert S.Kraemer）所著《洛克达因：把人送入太空》。

附录A 普惠之鹰，从何处飞来

它是世界上最知名的公司徽标之一，它出现在所制造的每台普惠发动机上。然而，无人知晓这是如何开始的。联合技术公司的已故史料档案专家哈维·利平科特花费数年时间翻遍他能找到的公司的每个记录、每本书、每个图书馆和每座博物馆，以便发现普惠之鹰的起源。但都无功而返。关于谁选中美国白头雕作为公司的标志，为什么或谁为之设计，都没有记录。弗里德里克·伦奇勒在他的1950年个人回忆录中也未提及。

然而，这只鹰自1925年以来就深受欢迎。很多很多普惠之鹰标牌很快就从发动机上消失，最后出现在皮带扣环上、办公桌饰件上、工具箱上、汽车方向盘上，凡是你能说出的地方。标准的四色白头雕有几种改型。RL10发动机温度降得太低，以致搪瓷脱落，因此出现了一种不锈钢不涂漆的徽标，人们叫它低温鹰。相反，J58运转时温度又太高，搪瓷也脱落，低温鹰变成高温鹰，又叫佛罗里达鹰，因为该发动机在佛罗里达制造。这些鹰大多保留在发动机上。

1981年，原来的鹰标志被现代设计所替代。说实在的，大部分人不喜欢。没有几年，传统的鹰又回来了。当时的公司总裁阿特·韦格纳那天走过工厂为新的旧式鹰揭幕时，受到员工们热烈鼓掌欢迎。几乎每个员工都发给一张海报，上面的照片显示一只形象非常机警而勇猛的白头雕，文字说明是“我回来了。更聪明、更强壮、更坚韧。”

多年来，徽标上的文字几经更改。原始的文字是“普惠，美国，可信赖的发动机”。1941年增加为“美国专利局注册”, 后来又去掉。在战争年代，获许可证生产厂家使用正规的徽标，但是福特、别克、大陆，或纳什 - 凯尔文纳特等公司名称则刻在鹰的蓝色背景上。1945年又增加“飞机”一词，很多年后又去掉。

附录B 飞机与火箭发动机

发动机型号	飞　机	说　明
典型发动机		
R1340 “黄蜂”	水陆两栖N-2-C，“大西洋”C-5，贝尔H-12，贝兰卡L-11“天空摇臂”，AT-15BL和JE-1，波音AT-15BO教练机，P-26，P-29，C-73，（247型），F2B，F3B，F4B，40A型，100SP型，204型，布尔CA-6W，加拿大汽车与冶炼厂C-64 诺思曼，赛斯纳C-106A，XPG-4，英联邦澳大利亚蔡斯沃拉维，瓦尔梯YBC-3，寇蒂斯 莱特XA-4，XO-12“隼”，P-3A，O-52“猫头鹰”，SOC“海鸥”，A6A，6000A型，底特律C-23奥尔泰，C-25奥尔泰，底特律DHC-3，U-1，德哈维兰“水獭”，道格拉斯C-29“海豚”8，EJ-2型，25-2型，BT-2，C-29，O-32，“东方”RD-1、2、3、4，费尔查尔德F-1 71型，FB-3，C-96，71型，AT-13洋基杜德尔，FC-2W，菲亚特G-49，福克F-10A，F-22，S-13，福特C-4，5AT，福莱F-1“猎游”，固特异K&M艇，格鲁门G-73马拉德，汉密尔顿H-45，容克斯JU-52，卡曼HOK-1、2，莱尔德LC-RW-450，洛克希德C-12维嘉，C-17维嘉，10，UC-36B“电气”，洛克希德，UC-85奥利昂，C-101维嘉，奥尔泰，“空中快车”3，公务机，马奇MB-323，麦克唐纳AT-15MC教练机，“金属火烈鸟”，N.A.F.SON-1，奴尔杜因AT-6 哈佛，C-64诺思曼，北美AT-6（SNJ）泰克森，哈佛，BC-1、2，Y1BT-10，福克“超通用”，北美NJ-1耶鲁，NA-16，诺斯罗普A-17AS“流浪者”，C-19，“开拓者”，“三角”，皮亚高伊奥P-150，皮亚塞吉HRP-1，2“搜救者”，雷恩B-7，西科斯基C-6，S-38，S-55（HO4S），斯蒂尔曼4E型，阿尔法4A，YOSS-1，斯廷森SM-6B，托马斯毛瑟XP-13A，O-19，O-22，沃特OSU-1，XF2U-1，“海盗”沃特O2U，O3U，“海盗顶峰”Z-6-A	9缸气冷式活塞发动机，原型410hp，后来升至600hp
R1690 “大黄蜂”	美国飞机和发动机公司100A“朝圣”，“大西洋”XLB-2，贝兰卡C-27，波音YB-9，40-B型，80A-1型，95型，220型，221型，“单翼邮政”，Y1C-18，“联合型”17，20，20A“舰队人”，16型“资深船长”，寇蒂斯YA-10，道格拉斯O-38，福西特F-19，福克-沃尔夫FW-200“神鹰”，通用GA-43，C-14B，汉密尔顿TG-1，容克斯JU-52，JU-86，“基石”（洛宁）C2H，B-4A，LB-3A，LB-7，LB-8，LB-10A，LB-12，LB-13，LB-14，洛克希德C-56A，C-56C，C-56D洛德斯特，C-59洛德斯特，洛克希德XR40-1哈德森，洛克希德电气14H2型，马丁B-12，YB-13，P3M-2，T4M-1，74型，N.A.F.T4N-1，西科斯基OA-8，Y10A-8，S-40A，S-41B，S-42，S-43（JRS-1），托马斯毛瑟YO-20，沃特V-80P，V-92S，“海盗”沃特SU-1，SU-2，SU-3，SU-4，O3U-2	9缸发动机，额定功率525hp，后来型号达到875hp。较大型号R1860为575hp

续表

发动机型号	飞 机	说 明
典型发动机		
R985 “小黄蜂”	空速牛津V，阿伟昂–马克斯–霍伊斯特MH–1521， 阿芙萝·安森V，巴克利·格娄T9P–1，堪萨斯比奇F–2，比奇AT–7领航员，堪萨斯比奇AT–11（SNB），比奇C–43（GB）“旅游者”，C–45（JRB）“旅行者”，C–45A–H “远征队员”，D–17S，18S系列，贝尔42型，200型（XV–3），贝兰卡300W“领跑者”，400W“天空火箭”；本迪克斯J型，B/J，OJ–2，波音XBT–17，布利斯特尔Mk171，加拿大费尔查尔德F11X“爱斯基摩人”；比奇CQ–3，联合BT–7，Y1PT12，瓦尔梯BT–13（SNV）“勇敢者”，联合21–C型，德哈维兰“海狸”L–20，DHC–2， 道格拉斯“海豚”3，OA–4，YOA–5，C–26，费尔查尔德塞卡尼51A型，机队巽BT–12索夫摩尔，福莱切PO–11，YCQ–1A，格鲁门OA–9鹅，OA–13（JRF），XJ3F–1，霍华德UC–70“夜莺”，DGA–15，库尔豪温FK–50，FK–51，洛克希德UC–36，37，40“电气”，JO–1，2，3，XR20–1，R30–2，12型，奥利昂2D，麦克唐纳XHJH–1，N.A.F.OS2N“翠鸟”，北美BT–14耶鲁，皮亚塞吉HUP–2，H–25， 普拉特乐佩奇XR–1，瑞安YO–51“蜻蜓”，塞维尔斯基 BT–8，西科斯基H–5F，R–5（HO2S，3S），C–28，S–39，S–51，斯巴达人UC–71公务机，C5–301型，7W型，斯提尔曼BT–5，4D型A75N1，可靠斯廷森L–12A，UC–81，斯廷森W，维丹研究XBT–16，沃特OS2U“翠鸟”，瓦 UC–72（SRE），S3HD	较小的9缸活塞发动机，设计用于轻型运输机、教练机、运动飞机和直升机。初始额定功率300hp，先进型达到600hp
R1535 “小对黄蜂”	博泰兹63–12型，波音247A型，布尔盖695–AB2型，699–B2型，690–C型，布利斯特尔博陵布鲁克，加拿大汽车和冶炼厂10型，寇蒂斯莱特SBC–3克利夫兰，道格拉斯O–46A，福克G–1，“大湖”BG–1，格鲁门F2F，F3F–1，XSF–2，马尔斯·马斯特Ⅲ，诺斯罗普A–17，17A“流浪者”，BT–1，沃特V–142，V–143，SBU–1，–2，–3，SB2U“维护者”，XSB3U	R1535是普惠首款双排生产型发动机。是R1830对黄蜂的较小型号，825hp
R1830 “对黄蜂”	东南航空SE–161，布罗奇153–C1，174型，176型，波音XB–15（XC–105），PB2B卡特琳娜，布莱达BR–65，布利斯特尔布福Ⅱ，巴德RB–1，2考尼斯道卡，加拿大汽车和铸造厂CBY–3，英联邦澳大利亚“飞镖”，联合瓦尔梯F–7“解放者”，OA–10卡特琳娜，联合瓦尔梯YA–19，AT–22“解放者”，B–24（PB4Y–1）“解放者”，“先锋瓦尔梯”P–66，“解放者快车”C–87（RY–3），联合卡特琳娜PBY，PB2Y科罗拉多，联合瓦尔梯PB4Y–2“私有者”，39型，寇蒂斯莱特P–36莫霍克，XP–42，C–76“大篷车”，H–81A，H–75，道格拉斯DSTA，DC3A（C–41），C–47（R4D）达科塔“空中火车”，C–48达科塔“空中骑兵”，C–52达科塔“空中骑兵”，TBD“毁灭者”，C–53（R4D–3，–4）达科塔“空中骑兵”，C–68，东方FM–1野猫V，菲亚特G–212CP蒙泰洛萨，福特C–109“飞行加油机”，格鲁门JF–1	双排14缸星形设计，1350hp，共生产173618台，是生产最多的航空发动机

续表

发动机型号	飞 机	说 明
典型发动机		
R2800 "双黄蜂"	北方航空2501型，2503型；西南航空SO-30P；贝尔HSL-1（61型）；布尔盖BR-763，BR-765；布鲁斯特XA-32，F3A-1"海盗"；蔡斯C-123B；瓦尔梯XA-19B；联合瓦尔梯TNY-2"海狼"，110型，240型；340（R4Y）型康威客机；440型"世界城市"，T-29，C-131萨马瑞坦，C-46（R5C）"突击队"；寇蒂斯莱特P-60A，E，XC-113，XF15C，SB2C-6"俯冲轰炸机"，道格拉斯A-26"入侵者"，JD-1"入侵者"，XC-112A，DC-6（C-118，R6D）"升力大王"；东方XTBM-5"复仇者"；费尔查尔德C-82"小包裹"，C-123B，机队翼BTK-1；固特异FG-1，3，4"海盗"；格鲁门F6F"悍妇"，F7F"虎猫"，F8F"熊猫"，AF-2W，S"守护者"；休斯D2A（XA-37）；洛克希德RB-24（PV-1）文图拉，PY-2"鱼叉"，C-69E"星座"；马丁B-26（JM-1，2）"掠夺者"，AT-23"掠夺者"，PBM-5"水手"，202型，A"水星"，404（RM-1）；北美XB-28，AJ-1，2"凶猛"；诺斯罗普XP-56"黑子弹"，P-61（F2T）"黑寡妇"，F-15F"记者"；共和P-47"雷电"；西科斯基S-56（H-37，HR2S），HR2S-1W；斯特鲁科夫潘托贝斯；维克斯 沃里克I，II；沃特AU-1，F4U"海盗"，XTBU	18缸双排星形发动机，2500hp，是盟军二战空中优势的重要因素，生产一直持续到1960年
R4360 "主黄蜂"	东南航空SE-2010；波音XB-44"超级堡垒"，B-50，C-97 377型"平流巡航"，XF8B-1，B-377PG"大肚格皮"；联合瓦尔梯B-36，XC-99；康维A-41；寇蒂斯莱特XBTC-2；道格拉斯TB2D"摧毁者"；C-74"全球大王"I，C-124"全球大王"II；费尔查尔德C119（R4Q）"小包裹"，C-120"包裹飞机"；固特异F2G"海盗"；休斯XF-11，HFB-1"大力士"；洛克希德R60-1"宪法"；马丁AM-1，2"打手"，JRM-1"火星"，P4M摩卡特，诺斯罗普B-35；共和XP-72，XP-12"彩虹"	4排28缸星形螺旋排列，起初3000hp，后来型号升至4300hp
J42	格鲁门F9F-2"美洲狮"	离心式涡喷发动机，推力5000lbf
J48	格鲁门F9F-5"美洲狮"，F9F-68"黑豹"，洛克希德F-94C星火，北美F-93A	离心式涡喷发动机，推力7250lbf，带加力达8750lbf
T-34	道格拉斯C-133"货运大王"，波音B-377SG"超大肚格皮"，C-97J，洛克希德C-121F"星座"	涡桨发动机，7200hp

续表

发动机型号	飞 机	说 明
典型发动机		
J57（JT3）	北美F−100“超级佩刀”，麦克唐纳F−101“巫师”，通用动力F−102“三角剑”，波音B−52“平流层堡垒”，马丁B−57D，洛克希德U−2，波音C−135A“平流层运输机”，KC−135A“平流层加油机”；陵−泰姆克−沃特F8“战斗者”；道格拉斯A3D“天空武士”，F4D，F5D天光，波音707−120，720，麦道DC−8−10，诺斯罗普SM−62斯纳克，波音C−137	轴流双压气机涡喷发动机，推力13500lbf，带加力达19600lbf
J75（JT4）	共和105“雷公”，通用动力F−106“三角剪”，马丁P6M“海王”，洛克希德U−2A，波音707−220，−320，麦道DC−8−20，−30，北美F−107A	轴流双压气机涡喷发动机，推力17500lbf，带加力达26500lbf
J52	麦道A−4“天鹰”系列，格鲁门A−6“入侵者”系列，北美洛克威尔AGM−28“猎犬导弹”	轴流涡喷发动机，推力11200lbf
J60（JT12）	洛克威尔国际T−28“七叶树”，T−39A“军刀运输机”，洛克希德C140“喷气星”	高性能单转子小型涡喷发动机，推力3300lbf
J58	洛克希德SR−71“黑鸟”，YF−12A	涡喷发动机，30000lbf推力级，装机飞机速度*Ma*3
JT3D（TF33）	波音707−120B，320B和C，323C 720B，麦道DC−8−50，−60，DC−8F“喷气商人”，波音B−52H“平流层堡垒”，康威尔RB−57F “天仙”，波音C−135B“平流层运输机”，KC−135B“平流层加油机”，洛克希德C−141A“星”运输机，波音VC−137B，总统专机	涡扇型J57，推力21000lbf
TF-30	通用动力F-111，LTVA−7A，B，C“海盗”Ⅱ，格鲁门F-14A“雄猫”	轴流式涡扇发动机，开加力推力25100lbf
JT8D系列	波音727，波音737−100/200，麦道DC−9，波音MD−80，超级27换发计划	1964年被引进用于波音727−100飞机开业飞行。今天8个型号构成JT8D标准系列发动机，推力为14000~17400lbf，用在波音727，波音737和DC−9飞机上。共生产1.18万台标准JT8D发动机，截至2007年累计飞行5亿多小时。现代衍生型JT8D−200系列，推力18500~21700lbf，是MD−80系列飞机的唯一发动机，自1980年投入运营，共生产2900多台

续表

发动机型号	飞　机	说　明
典型发动机		
JT9D系列	波音747，波音767；空客A300，A310；麦道DC-10	JT9D开辟了大涵道比发动机推动宽体飞机的商业航空新时代。作为普惠公司首款大涵道比涡扇发动机，JT9D使用了在结构、气动力和材料方面很多先进技术，以使燃油效率和部件耐久性最大化。 JT9D包括3大系列：JT9D-7推力从46300lbf到50000lbf；JT9D-7Q额定推力为53000lbf；JT9D-7R4推力从48000lbf到56000lbf。对于双发安装的JT9D-7R4来说，发动机被批准180分钟的双发延程飞行（ETOPS）
现代商用发动机		
PW2000系列	波音757；伊留申IL-96；C-17	PW2000的推力为37000~43000lbf，设计用于波音757，到2003年3月，累计飞行2600多万小时。军用型PW2000为F117-PW-100，是美国空军C-17"全球大王"Ⅲ军用运输机的唯一发动机。美国空军还为军用型波音757，C-32A选用PW2040
94in风扇PW4000	波音747-400，波音767-300/-300，波音MD-11；空客A300-600，A310-300	94in风扇PW4000在大推力航空发动机系列中是首款发动机。对于双发飞机来说，PW4000被批准180分钟双发延程飞行（ETOPS）。

续表

发动机型号	飞　机	说　明
现代商用发动机		
94in风扇 PW4000	波音747–400，波音767–300/–300，波音MD–11；空客A300–600，A310–300	自1987年投入运营以来，PW4000为航空公司提供了卓越的使用经济性和高可靠性。先进的经过运营验证的技术，诸如单晶超级合金材料和全权数字式发动机电子控制装置（FADEC）为卓越的燃油经济性和可靠性做出了贡献
100in风扇 PW4000	空客A330–300，A330–200	100in风扇PW4000是PW4000系列的第一个衍生型号。专门为空客A330双发喷气机研制，取证推力64500~68600lbf。PW4168A的推力还可以提高4.5%，以便在高海拔和高温条件下使用
112in风扇 PW4000	波音777–200/–300	112inPW4000是PW4000系列的第二个衍生型号。PW4084取证推力是86760lbf，是波音777超级双发喷气机的发起发动机。1995年6月，在美国联合航空公司投入运营时就获准180分钟ETOPS飞行，这在业内尚属首例，也是首款获准207分钟ETOPS飞行的发动机
V2500	空客A319，A320，A321；波音MD–90	国际航空发动机公司的V2500系列涡扇发动机推力22000~33000lbf，为80多家客户提供高效清洁动力。

续表

发动机型号	飞　机	说　明
现代商用发动机		
V2500	空客A319，A320，A321；波音MD-90	V2500的先进技术使之在同级别发动机中成为首选，能够提供无与伦比的效率和可靠性。发动机的宽弦无叶冠风扇叶片设计不仅提高燃油效率，而且具有卓越的抗外物损伤的能力。其高压压气机采用坚固的10级设计，具有先进的叶片气动力，从而提高部件性能。两级高压涡轮效率高，部件寿命长。全权数字式发动机电子控制装置提高了发动机的可用性和维修诊断能力
PW6000	空客A318	PW6000是普惠公司研制的最新商用产品，推力18000~24000lbf，专门为100座客机设计，目前提供给空客公司，用于A318。 PW6000的制造基于从普惠公司其他先进发动机计划收集的经过验证的技术，以便最大限度地降低100座客机用户的成本。普惠公司在PW6000中融入的技术进步使部件数量得以减少，因为发动机部件减少，所以购置成本和维修成本都得以降低

续表

发动机型号	飞　机	说　明
现代商用发动机		
GP7000系列	空客A380，A380F	发动机制造业最受推崇的两家公司，普惠公司与通用电气公司为空客A380的客户带来新的GP7000系列发动机。只有“发动机联盟”公司才能提供以世界级产品支援和服务为后盾的全部业务解决办法。GP7000衍生自航空史上最成功的GE90和PW4000系列发动机计划。这些发动机自投入运营就具有业内领先的ETOPS可靠性能力，并创造25亿多小时超群性能的纪录。GP7000以GE90核心机和PW4000低压转子为基础而打造，是融入新技术的衍生型精品发动机
军用发动机		
F100系列	F-15，F-16	美国空军所有F-15战斗机，以及世界上22个国家和美国空军的大部分F-16都使用F100系列发动机，F100是全世界空军的支柱。所生产的7000多台F100累计飞行2100多万小时，创造了杰出的安全与可靠性纪录
F117	波音C-17“全球大王”运输机	F117-PW-100是PW2000商用发动机的军用型号，取证推力为40400lbf。该发动机被美国空军选中，用作C-17“全球大王”Ⅲ型先进四发运输机的唯一动力装置。

续表

发动机型号	飞　机	说　明
军用发动机		
F117	波音C-17“全球大王”运输机	C-17的独特之处是其F117发动机配备有在飞行中可使用变向反推的能力。在地面，反推装置可把满载飞机倒退上两度的斜坡。还值得一提的是配备F117的C-17在形成初始作战能力前的资格认证飞行中创造了22项世界纪录
F119	F-22“猛禽”	普惠F119涡扇发动机是世界上最先进的在产航空发动机，能满足新的武器系统对更快的速度和更轻的重量的要求。在35000lbf推力级别的发动机中，F119 是双转子对转涡扇发动机，能使飞机在不开加力的情况下长时间超声速飞行
F135	F-35联合攻击战斗机	普惠F135推进系统是先进单发战术战斗机F-35联合攻击战斗机（JSF）的首选动力装置。F-35由洛克希德·马丁公司研制，有3种型号，常规陆基起降（CTOL），航母起降（CV）和短距起飞垂直降落（STOVL）。事实证明F135推进系统能够满足这些不同要求。F135由F119-PW-100演变而来，F119是技术先进的涡扇发动机，用作空军F-22“猛禽”战斗机的发动机

续表

发动机型号	飞 机	说 明
普惠加拿大 涡桨发动机		
PT6A涡桨发动机系列 (下一栏载有50多个型号的PT6)	航空牵引机AT402A/402B, 502B, AT602, T802/802A/802AF/802F; AMI DC−3, 艾尔斯660型, 透平鹈T−65, T−34, T−15; CATIC/HAIG Y−12; 巴斯勒涡轮BT−67; "黑鹰" XP™ "空中国王" 90系列、"黑鹰" 200XP™, 425XP™, 夏延XP™; "蓝色" 35; 赛斯纳208/208B "大篷车" I, 赛斯纳 "征服者" I; 康艾航空−S2 "涡轮火猫", 德哈维兰DHC−6 "双水獭" 300系列, "冲" 7, DHC−4 EADS索卡达TBM 850, 700; 巴西航空工业EMB−110, EMB−111, EMB−121 欣古, EMB−312 图卡诺, EMB−314 超图卡诺, 巴西航空工业卡拉哈; 夫雷克斯−莫拉德, "涡轮猫" A/B/C型; 伊比斯宇航270HP; 喷气螺桨DLX; KA1−KT−1/Ko−1; LET L410; 国家宇航实验室萨拉斯; 太平洋航空科列斯科750, 750XL; 皮亚哥P−166−DL3, "前进" P−180, "前进" Ⅱ; 皮亚图斯涡轮运输PC−6, 涡轮教练机 PC−7/PC−7 MK , 涡轮教练机PC−9, PC12, PC−21; 派珀 夏延1A, Ⅱ/ⅡXL, Ⅲ/ⅢA, 派珀马利布子午, 派珀T1040; 波兰航空工厂M28 "空中货车", PZL−奥克切PZL−130TE涡轮−奥立克, TC−Ⅱ涡轮奥立克, PZL−106 涡轮克鲁克; 追求−科迪亚克; 雷神比奇1900/1900C, 1900D, 99, 99A, B99, C12F, C99客机, 空中国王A100, "空中国王" C90A/B/SE, E90, F90−1/C90GT, RC−12K, "星船", "空中国王" 200/B200, "空中国王" 300/350, F−34C, T−44A, T−6A "得克萨斯人" Ⅱ; 雷姆斯F406 "大篷车" Ⅱ; 施韦策G−164B AG−Cat涡轮, G−164D AG−Cat 涡轮; 肖茨330, 360/360−300, C−23A谢帕, C−23B超谢帕, "银鹰" 135; 斯柯达TBM700 T−G 航空超夏延®, "涡轮航空财运"; 瓦扎尔 "冲" 3涡轮 "水獭"	几十年来, PT6A系列发动机一直是小型涡桨飞机的中坚发动机。以使用成本低, 和由广泛的外场支援网路为后盾, PT6A还为各种双发和单发涡桨飞机提供动力。以其传奇式性能跟踪纪录, PT6A发动机在通用航空市场占据无可争辩的领先地位。 近40年来, PT6A在业内树立了可靠性和可信赖的榜样。PT6A的功率从580~1940hp, 还以其设计简单, 维护方便, 运行高效的特点而提供了所能提供的最佳价值
PW100系列	阿莱尼亚航空EADS ATR42−300/320, 42−400/500, 72−200, 72−210/500, 阿莱尼亚航空EADS−CASC−295; 西安飞机公司MA−60; 加拿大航空CL−215T/CL−415; 庞巴迪宇航Q100, Q200, Q300, Q400; 费尔查尔德−道尼尔 328−110/120; 巴西航空工业EMB120 巴西利亚; 福克50 "高性能", 福克60 "通用"; 伊留申IL−114−100; 喷气流飞机ATP	PW100是一种先进技术节油涡桨发动机, 设计用于为30~70座支线客机以及通用和公司专机提供动力。 PW100系列发动机已经发展成能提供1800~5000hp的动力

续表

发动机型号	飞　机	说　明
涡轴发动机		
PT6和PW200系列（直升机发动机）	阿古斯塔A119考阿拉PT6B-37A；阿古斯塔贝尔PT6T-3/6；阿古斯塔贝尔412/SP/HP/EP PT6T-3B/BE/D/DF/6/B；阿古斯塔维斯兰AW139 PT6C-67C；贝尔212 PT6T-3/B；贝尔412/SP/HP/EP PT6T3B/BE/BF/BG/D/DF；贝尔CFUTTH CH-146 格里芬 PT6T-3D；贝尔UH-1N/AH-1J/CUH-1N T400-CP-400；贝尔AH-1T/AH1J T400-WV-402；达因公司UH-1"全球鹰"PT6C-67D；贝尔VH-1N T400 CP-401；西科斯基S-58T PT6T-3/6；西科斯基S-76B PT6B-36A/B；阿古斯塔 A109E PW206C；阿古斯塔A109"宏伟"PW207C；贝尔427 PW207D；贝尔429 PW207D1；欧直EC135 PW206B/B2；卡赞安萨特PW207K；MD"探险者"	普惠加拿大公司有30年提供直升机发动机的历史，PT6涡轴系列发动机继续为直升机发动机的可靠性、耐久性和低成本树立榜样。PW200发动机提供经过验证的最新技术，使新一代单发和双发直升机的可靠性和经济性达到空前水平，PW200是旋翼机和倾转旋翼机的优秀发动机
涡扇发动机		
JT15D，PW300，PW500和PW600系列	JT15D系列 法国宇航"轻型护卫舰"，阿古斯塔 S211/S211A，赛斯纳"奖状"Ⅰ，Ⅱ/S Ⅱ，V，"超级"，赛斯纳 UC-35A/B，三菱"宝石"1A，雷神霍克400XP，雷神T-1A堪萨斯，雷神TCX	JT15D产生2200~3350lbf推力。JT15D发动机的另一个好处是对一系列公务喷气机通用，便于维修保养
	PW300 系列 庞巴迪"利尔喷气"60型，赛斯纳"奖状君主"，达索"鹰隼"2000EX，7X，费尔柴尔德道尼尔328喷气，"湾流"G200，"利尔喷气"60型，雷神霍克1000，霍克4000	PW300系列采用最近创新的部件技术为中型超级公司专机提供无与伦比的收益。 PW300是先进大涵道比涡扇系列发动机，推力4500~8000lbf，其设计用于清洁、安静和低成本飞行。 PW300系列采用最新部件技术设计，提供具有竞争性燃油效率和最佳推重比

续表

发动机型号	飞　机	说　明
涡扇发动机		
	PW500系列 赛斯纳“奖状喝彩”，“超越”，XLS，“超欢呼”，“欢呼+”，赛斯纳-35C/D PW535A	PW500涡扇系列发动机采用很多最新技术进步，提供高度可靠、安静和成本效益比高的动力解决方案。 PW500是先进大涵道比涡扇发动机，推力3000~4500lbf，通用核心机的概念满足飞机的各种需要，采用改进的部件技术，提供耐久性和可靠性的新标准
	PW600系列 赛斯纳“野马”PW615F–A； “日蚀”500 PW610F	环境友好，低油耗，耐久性好，可靠性高，以及低维修保养成本都是PW600系列的特点。 PW600是专为商务和通用航空市场而设计。 PW600的设计能提供不同推力，同时达到最高的可靠性和耐久性标准。发动机可以放大或缩小比例以满足各种客户的要求，这是PW600设计的关键推动因素，并为900~3000lbf推力的新涡扇系列发动机搭建舞台
辅助动力系统（APU）		
PW900	空客A380和波音747–400的APU	PW900是辅助动力装置，其设计研制是为主发动机起动和座舱环境控制提供空气动力。PW900还有驱动盘带动两台机载发电机为飞机供电
火箭动力（不包括普惠收购前洛克达因的工作）		
SSME	航天飞机	航天飞机主发动机（SSME）是世界上最可靠和经过充分考验的大型火箭发动机。SSME取得100%的飞行成功率，在100万秒热点火中可靠性超过99.96%

续表

发动机型号	飞　机	说　明
火箭动力（不包括普惠收购前洛克达因的工作）		
RS–68	“德尔塔”Ⅳ列改进型一次性运载火箭（EELV）	RS–68是美国25年来研制的首款新的大型液体燃料火箭发动机。 装有锥形扩散喷管的RS–68是液氢液氧助推发动机，采用简化设计理念，使部件数量比现用低温发动机的部件数量减少。该设计方法降低了研制和生产成本
RS–27A （联合发射联盟公司照片）	“德尔塔”Ⅱ运载火箭	标称海平面推力为20万磅力的RS–27创造了火箭发射历史上最持久和最成功的发射纪录之一，可靠性系数达100%。 RS–27单起动火箭发动机装在万向架上，使用液氧与RP–1煤油工作。推力室采用蓄能式冷却，燃料在292个管路中循环流动，这些管路构成推力室的内壁
RD180 （洛克希德·马丁公司照片）	洛克希德·马丁“宇宙神”Ⅲ和Ⅴ	RD180总推力达100万磅力，比美国现用助推发动机性能提供10%
RL10 （联合发射联盟公司照片）	“宇宙神”和“德尔塔”运载火箭	著名的RL10是世界上最可靠、最安全的高性能上面级发动机，积累了航天发动机历史上最激动人心的一系列成就。 普惠公司掌握了高能液氢作为航天发动机燃料后，1959年RL10研制成功，把很多军用、政府用和商用卫星送入轨道，推动太空探测器到太阳系几乎所有星球执行探测任务

参考资料

图书

[1] Drewes，Robert W.，The Air Force and the Great Engine War，1987，National Defense University Press，Washington，DC.

[2] Fernandez，Ronald，Excess Profits：The Rise of United Technologies，1983，Addison-Wesley Publishing，Reading，MA.

[3] Garvin，Robert V.，Starting Something Big：The Commercial Emergence of GE Aircraft Engines，1998，American Institute of Aeronautics and Astronautics，Reston，VA.

[4] Gunston，William，World Encyclopedia of Aero Engines，4th Edition，1998，Patrick Stephens Limited，Sparkford，Somerset.

[5] Kraemer，Robert S.，Rocketdyne：Powering Humans Into Space，2006，American Institute of Aeronautics and Astronautics，Reston，VA.

[6] Mead，Carey，Wings Over the World：The Life of George Jackson Mead，1971，The Swannet Press，Wauwatosa，WI.

[7] Monday，David，editor，The International Encyclopedia of Aviation，1977，Crown，New York.

[8] Mulready，Richard，Advanced Engine Development at Pratt & Whitney，2000，Society of Automotive Engineers，Warrendale，PA.

[9] Rentschler，Frederick B.，An Account of the Pratt & Whitney Aircraft Company，1925-1950，1950，privately published.

[10] Rowe，Brian H.，The Power to Fly：An Engineer’s Life; 2005，American Institute of Aeronautics and Astronautics，

Reston，VA.

[11] Sullivan，Kenneth H.and Milberry，Larry，Power：The Pratt & Whitney Canada Story，1989，CANAV Books，Toronto.

[12] ＞White，Graham，R-2800：Pratt & Whitney’s Dependable Masterpiece，2001，Society of Automotive Engineers，Warrendale，PA.

[13] White，Graham，R-4360：Pratt & Whitney’s Major Miracle，2006，Specialty Press，North Branch，MN.

[14] Wilson，Eugene E.，Kitty Hawk to Sputnik to Polaris; 2nd Edition，1967，Literary Investors Guild，Palm Beach，FL.

[15] Wilson，Eugene E.，Slipstream，1950，McGraw-Hill，New York.

[16] Womack，James P.and Jones，Daniel T.，Lean Thinking：Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation，1996，Simon and Schuster，New York.

UTC主要出版物

[17] Bobbi，Mark A.，Manager Employee Education，Pratt & Whitney：A 70th Anniversary Tribute，1995，United Technologies Corporation.

[18] Partners in Defense：Pratt & Whitney’s First 25 Years in Florida，1983，United Technologies Corporation.

[19] The Pratt & Whitney Aircraft Story，1950，United Aircraft Corporation.

[20] Pratt & Whitney 65th Anniversary：In the Company of Eagles，1990，United Technologies Corporation.

档案资料

[21] Aircraft Nuclear Propulsion Program of Pratt & Whitney Aircraft Division，1980，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[22] Bye Bye Blackbird：Retirement of the SR-71，1990，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[23] Crow，David E.，Address to Royal Aeronautical Society，2000，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[24] The F100 Engine，1980，Society of Automotive Engineers Warrendale，PA.

[25] F-14A Status Report，1974，Society of Automotive Engineers Warrendale，PA.

[26] The Historical and Technological Development of the JT9D，1982，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[27] A History of Pratt & Whitney Aircraft's Florida Research and Development Center and Government Products Division，1982，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[28] The History of United Technologies Chemical Systems Division，1983，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[29] Interviews with Charles Roekle，Richard Mulready，and Frank McAbee，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation，interviews conducted 1982.

[30] Interviews with H.M.Horner，1945-1968，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation，interviews conducted 1960，1973.

[31] Slay，Gen.Alton D.，Presentation to U.S.Senate Armed Service Committee，1979，Archive and Historical Resource Center，United Technologies Corporation.

[32] Statement of United Technologies Corporation-Pratt & Whitney，U.S.Senate Defense Appropriations Subcommittee，1982，Archive and Historical Research Center，United

Technologies Corporation.

期刊和报纸

[33] “ADP Demonstrator Finishes First Sea-Level Tests，” Aerospace Propulsion，Vol.3，No.24，Nov.26，1992，p.1.

[34] “Aircraft Engine Program Sparks Fierce Lobbying，” The Washington Post，March 12，1979，p.A1.

[35] “Airlines Could Reap Big Savings with New Pratt Common Core，”Aviation Week and Space Technology，Vol.136，No.23，June 8，1992，p.43.

[36] “C-17 Go-Ahead Secures Future of P&W’s PW2000 Series，”Aerospace Propulsion，Vol.6，No.23，Nov.9，1995，p.1.

[37] “Cheap is Good，” Air Transport World，Vol.35，No.8，Aug.1998，p.50.

[38] “Commonality Key to PW4084 Early ETOPS，” Aviation Week and Space Technology，Vol.140，No.15，April 11，1994，p.53.

[39] “Engine Slowdown，” The Hartford Courant，Feb.22，2002，p.E1.

[40] “F119 Design to Slash Maintenance Requirements，” Aviation Week and Space Technology，Vol.143，No.4，July 24，1995，p.56.

[41] “F119 Versatility Challenged by JSF Requirements，”Aviation Week and Space Technology，Vol.145，No.22，Nov.26，1996，p.25.

[42] “F-22 Raptor Meets First-Flight Goals，” Aviation Week and Space Technology，Vol.147，No.11，Sept.15，1997，p.22.

[43] Fink，David，“The JT8D Engine Uses Full-Length Fan Duct，” Aviation Week and Space Technology，Oct.14，1963，p.52.

[44] “First RD180 Delivered，” Aviation Week and Spaced Technology，”March 25，1998.

[45] “German HP Compressor Set For Two New Pratt Engines，” Aviation Week and Space Technology，Vol.153，No.9，May 27，2002，p.56.

[46] “The Great Engine War，” Northeast Magazine，March 27，1983，p.10.

[47] “IAE Cites Risk，Scuttles Plans To Launch Superfan，”The Hartford Courant，April 9，1987，p.C32.

[48] “McDonnell Douglas’s F-15 Fighter Appears Headed for Big Air Force Production Run，” The Wall Street Journal，Feb.12，1973.

[49] “New Engines Launched，”Aviation Week and Space Technology，Vol.142，No.8，Feb.20，1995，p.31.

[50] “New Jumbo Jet Engines Are Planned By Pratt，”The New York Times，Dec.8，1982.

[51] “P&W Gears Up Family Plan as PW9000 Goes On Line，” Flight International，April 3-9，2007，p.7.

[52] “P&W to Lead Consortium in Development of Airbus Engine，”The Hartford Courant，June 11，1987，p.B1.

[53] “P&WA Offering Engine Warranty，”The Hartford Courant，Aug.4，1981，p.C1.

[54] “Pratt & Whitney Aims for Even More Power from the F135 Engine for the Joint Strike Fighter，”Aviation Week and Space Technology，Vol.168，No.5，Jan.17，2005.

[55] “Pratt & Whitney Expects to Regain Market Share with PW2000，PW4000 Engines，”Aviation Week and Space Technology，Aug.31，1987，p.70.

[56] “Pratt & Whitney Preparing to Move Forward with F135 Engine Development，”Defense Daily International，Vol.3，

No.1.Nov.2，2001.

[57] “Pratt & Whitney to Certify New Powerplants，”Aviation Week and Space Technology，Dec.13，1982，p.24.

[58] “Pratt & Whitney’s Surprise Leap，”Interavia Business and Technology，Vol.53，June 1998，p.25.

[59] “Pratt Achieves Strategic Victory With New Engine，”The Hartford Courant，Sept.8，1998，p.A1.

[60] “Pratt Begins Tests of JSF Powerplants，”Aviation Week and Space Technology，Vol.148，No.25，June 22，1998.p.34.

[61] “Pratt Claims Record Turbine Temps in JSF Engine Tests，”Aviation Week and Space Technology，Vol.154，No.25，June 18，2001，p.76.

[62] “Pratt Cries Foul in Race for $10 Billion Engine Business，”Defense Week，June 1，1982，p.3.

[63] “Pratt Opts for Increased Effort in Large Engine Market，” Air Transport World，Vol.20，Jan.1983，p.47.

[64] “Pratt’s ATF Engine Victory Could Yield 1500 Powerplants，”Aviation Week and Space Technology，Vol.134，No.17，April 29，1991，p.24.

[65] “Propfans To Offer New Generation of Power，” The Hartford Courant Business Weekly，Sept.8，1986，p.7.

[66] “PW2037 Starts Work，”Flight International，Nov.10，1984，p.1246.

[67] “PW4000 Off to a Good Start in Big Engine Race，”Air Transport World，Vol.24，March 1987，p.32.

[68] “PW6000 Engine Design Targets Costs，Reliability，”Aviation Week and Space Technology，Vol.150，No.23，June 7，1999.p.44.

[69] “Quick Start：Propulsion Development for the JSF is on Track and Progressing Rapidly，”Aviation Week and Spaced Technology，Vol.160，No.16，April 20，2004，p.32.

[70] “Risk，Cost Sway Airframe，Engine Choices for ATF，” Aviation Week and Space Technology，Vol.134，No.17，April 29，1991，p.20.

[71] “Rolls-Royce Leaves JT10D Turbofan Development Program，” Aviation Week and Space Technology，May 16，1977，p.17.

[72] “Russian Government Approves Energomash–UTC Deal，”Reuters，April 1，1996.

[73] “Superfan Opponents Dispute Timing; UDF Tests Advance，”Air Transport World，Vol.24，No.4，April，1987，p.42.

[74] “Technical Snag Plagues Pratt & Whitney Jet Engine Project，”Palm Beach Post，Nov.27，1970，p.1.

[75] “2037：Pratt & Whitney Tests New Turbofan，”Flight International，Dec.19，1981，p.1832.

[76] “United Technologies，Rolls-Royce Scrap Jet-Engine Plan as Needs Keep Varying，”The Wall Street Journal，May 10，1977，p.13.

[77] “The V2500 Engine，”Exxon Air World，Vol.37，No.3，1985，p.16.

[78] “Vertical Reality，”Flight International，April 20，2004，p.50.

[79] Yafee，Michael L.，“Pratt & Whitney Builds on JT9D Concept，”Aviation Week and Space Technology，June 24，1974，p.49.

“普惠公司的影响触及到航空业和飞行界的许多人。这本史话如此生动地捕捉住那些先生们、女士们以及各种机器五彩缤纷的历史。这些先生们、女士们和那些机器让我们在技术进步的道路上走过近90年。我们对他们取得的成就致以崇高的敬意。”

——斯蒂文·F.乌德瓦-哈奇

这是一本关于航空界一个著名公司的史话，它与其他同行一样有个令人崇敬的名字，普拉特·惠特尼公司（简称普惠公司）。无论人们飞到哪里，都可以看到普惠公司可信赖的发动机如雄鹰翱翔。然而，普惠公司却是从烟草种植场的简陋仓库起家。1925年，弗里德里克·伦奇勒与一些工程师和制造专家一起在那里创立了普惠公司，发展到今天它已经研制了各种传奇性发动机，诸如，“黄蜂”、“大黄蜂”、“对黄蜂”和“双黄蜂”，以及J57、JT3、JT8、JT9、PW2000、PW4000、F100，乃至今天的F119、F135和齿轮传动涡扇发动机。普惠加拿大公司开辟了全新的小型发动机市场，诸如PT6、JT15、PW100和PW600系列发动机。普惠公司还用诸如RL10之类的航天推进系统进行航天发射，同时开拓燃料电池技术以及航改燃机。

然而，比各种发动机更重要的是，伦奇勒率先描绘出航空将成为全球性行业的发展前景，这一点在1925年很少有人能预见。三个简单原则指导着伦奇勒及其团队：对航空航天发动机的激情、对绝对优秀工程制造的专注和所有工作都必须以良好的业务计划为依据。普惠公司今天依然遵守这些原则制造“可信赖的发动机”，以使客户对发动机的每个方面都满意。

本书也是关于所有普惠人辛勤劳动和献身精神的故事，他们直面各种挑战，诸如“大萧条”，二战极端紧张的生产，在对喷气发动机知之甚少时如何制造喷气发动机？如何让发动机能在高于发动机本身金属熔点的温度下正常运转？以及如何让一个骨子里的美国公司适应新的全球经济，并改造自身成为一个具有全球性制造和支援设施网络的公司？

《可信赖的发动机：普惠公司史话》这本书有助于更好地了解航空业自身的历史以及打造航空业的人们。

责任编辑：李金梅
责任设计：王　楠

AIAA航空航天技术丛书

Flight Vehicle Performance and Aerodynamic Control
Black Hawk: The Story of a World Class Helicopter
Aircraft Engine Controls: Design, System Analysis, and Health Monitoring
Introduction to Helicopter and Tiltrotor Flight Simulation
Structural Dynamics in Aeronautical Engineering
The Airplane: A History of Its Technology
Finite Element Structural Analysis: New Concepts
Design and Development of Aircraft Systems
Rotary Wing Structural Dynamics and Aeroelasticity, Second Edition
Flight Testing of Fixed-Wing Aircraft
Composite Materials for Aircraft Structures, Second Edition
Aircraft and Rotorcraft System Identification: Engineering Methods with Flight-Test Examples
Hypersonic and High-Temperature Gas Dynamics, Second Edition
Performance, Stability, Dynamics, and Control of Airplanes, Second Edition
Dependable Engines: The Story of Pratt & Whitney
...



中航出版传媒有限责任公司
CHINA AVIATION PUBLISHING & MEDIA CO., LTD.
www.aviationnow.com.cn



定价：98.00 元